


FONDO PROVINCIA



ÉTUDES

SUR

LES INONDATIONS

TYPOGRAPHIE HENNUYER, RUE DU BOULEVARD, 7, BATIGNOLLES.
Boulevard extérieur de Paris.

ÉTUDES

SUR

LES INONDATIONS

LEURS CAUSES ET LEURS EFFETS

LES MOYENS
A METTRE EN ŒUVRE POUR COMBATTRE LEURS INCONVÉNIENTS
ET PROFITER DE LEURS AVANTAGES

PAR M. F. VALLÈS

INGÉNIEUR EN CHEF DES PONTS ET CHAUSSÉES.

OUVRAGE COURONNÉ
Par l'Académie impériale des sciences, belles-lettres et arts de Bordeaux.



Dieu dit à Noé :
« Lorsque le ciel sera couvert de nuages
« et que la pluie tombera sur la terre, je
« verrai mon arc dans les nues et je me
« souviendrai de l'alliance perpétuelle qui
« est entre moi et l'homme. »

PARIS
VICTOR DALMONT, ÉDITEUR,
Successeur de Carilian-Gœury et V^or Dalmont,
LIBRAIRE DES CORPS IMPÉRIAUX DES PONTS ET CHAUSSÉES ET DES MINES,
Quai des Augustins, 49.

1857

AVANT-PROPOS DE L'ÉDITEUR.

L'ouvrage que nous offrons au public est le résultat de longues et laborieuses recherches. L'auteur, occupé pendant plusieurs années d'études et de travaux d'irrigations, de desséchements, de constructions hydrauliques pour l'amélioration des rivières, a eu de nombreuses occasions d'observer dans leurs effets et de chercher à pénétrer dans leurs causes les lois de l'hydraulique naturelle du globe. Cette étude lui a appris que, d'une part, il y a moins de mal qu'on ne le croit généralement dans les désordres apparents de l'écoulement des eaux; que, d'autre part, les travaux à exécuter, pour faire disparaître des inconvénients trop réels aujourd'hui, ne sont pas au-dessus de nos forces, soit au point de vue des difficultés de l'exécution, soit à celui de l'importance des dépenses.

Les calamités qui furent le résultat des débordements de 1856 ne pouvaient laisser indifférent l'ingénieur qui depuis longtemps avait compris que le remède au mal n'était pas impossible à trouver. Il se mit immédiatement à l'œuvre, rassembla ses documents et s'appliqua sans relâche à la composition d'un ouvrage qui, nous n'hésitons pas à le dire, nous paraît destiné à produire quelque impression sur le public.

Sur ces entrefaites, l'Académie impériale des sciences, belles-lettres et arts de Bordeaux mit au concours la question des inondations. L'idée fondamentale du programme rédigé par l'Académie était partagée par l'auteur; il pensait, comme elle, que s'il y a dans les inondations des violences et des désastres que nous devons combattre, il y a aussi des dédomma-

gements et des bienfaits dont nous pouvons profiter. Cette communauté d'idées établit une sorte de sympathie entre ceux qui avaient posé la question et celui qui se croyait en mesure d'y répondre.

D'ailleurs, lorsqu'un travail s'élabore sous l'inspiration d'une pensée qui a pour but l'utilité publique, avec l'intention bien arrêtée de ne tenir compte que de la vérité, quelque confiance qu'on puisse avoir en son œuvre, on éprouve le besoin de consulter l'opinion des hommes compétents, surtout lorsque ces hommes entrent dans un ordre d'idées sur lequel on a profondément médité soi-même.

L'auteur se détermina donc à répondre à l'appel de l'Académie, et son travail a reçu un éclatant témoignage d'approbation.

Les mémoires adressés à l'Académie pour satisfaire à la partie du concours relative aux inondations ont été soumis à l'examen d'une commission dont M. Manès, ingénieur en chef des mines fut nommé rapporteur.

L'œuvre remarquable de cette commission rend notre tâche facile. En effet, pour donner au lecteur une idée, soit du mérite de l'ouvrage, soit de sa distribution, nous ne saurions mieux faire que de produire ici quelques extraits du rapport si net, si précis, si concluant, qui a été présenté à l'Académie. Le public pourrait se tenir en défiance contre nos impressions personnelles, mais il acceptera sans restriction, nous n'en saurions douter, l'opinion d'hommes éclairés, rendant compte du résultat de leur examen avec l'impartialité du juge et dans toute la liberté de leur conscience.

Voici comment s'exprime M. Manès au nom de la commission :

« Le mémoire n° 791, le plus volumineux et le meilleur de « tous, forme un cahier cartonné de 324 pages in-folio. C'est « un vrai traité sur la matière, dans lequel sont étudiés avec « le plus grand soin le phénomène de la pluie, les crues, les « moyens de préservation, les voies et moyens. Ici rien de « vague et d'indéterminé ; toute assertion y est confirmée par des

« exemples, toute idée émise est accompagnée de faits à l'appui. « Ce travail très-bien rédigé se distingue par de hautes considérations philosophiques ; il a exigé d'immenses recherches « et témoigne dans toutes ses parties de la profonde érudition « de son auteur. Il est divisé en sept chapitres que nous allons « analyser.

« Les chapitres I et II sont relatifs à la distribution et au « régime général des eaux sur le globe. On y trouve la détermination des quantités d'eau pluviale qui tombent annuellement tant en France qu'en Europe ; celle des quantités « d'eau qui s'évaporent à la surface des cours d'eau, à la surface du sol mouillé après la pluie et pour les besoins de la « végétation ; celle enfin des quantités d'eau qui sont absorbées « par le sol dans les terrains de couches très-absorbantes, imperméables ou moyennement perméables.

« On y voit surtout exposées une suite de lois très-remarquables qui se montrent dans le phénomène de l'arrosement « du globe et dont nous avons plaisir à vous présenter le « résumé.

« La pluie est produite par la précipitation des vapeurs d'eau « contenues dans les couches aériennes et provenant de l'évaporation à la surface des mers.

« La pluie après sa chute se divise en deux catégories : la « première constituant l'écoulement de surface, comprend les « eaux qui coulent sur le sol et se rendent directement à la « mer ; la deuxième catégorie, constituant l'absorption en général, comprend les eaux qui s'évaporent de la surface du sol « mouillé ou de celle des cours d'eau, ainsi que le liquide « qu'absorbe la terre et dont partie, restant près du sol ; alimente « la végétation, et partie, pénétrant plus ou moins profondément, se rend par des conduits souterrains aux sources des « vallées et à la mer.

« Il existe une connexion intime entre le phénomène de la « pluie et celui de l'évaporation à la surface des mers ; de là « résulte la permanence du niveau de l'Océan, si essentielle « pour l'avenir de la civilisation.

« Toutes les vapeurs de l'Océan ne se précipitent pas sous « forme de pluie; il y a en outre l'humidité qui mouille le « terrain sous forme de rosée et de brouillard et toute celle « que les végétaux absorbent dans l'atmosphère.

« Toute l'eau de pluie ne se rend pas à la mer; une partie « est restituée à l'atmosphère, soit par la dessiccation des « plantes, soit par l'évaporation naturelle à la surface des cours « d'eau et du sol mouillé.

« Une compensation parfaite s'établit entre ces deux ordres « de faits, savoir : les eaux de pluie qui font retour à l'atmo- « sphère et les vapeurs océaniques qui ne se déposent pas sous « forme de pluie. Il s'ensuit qu'il doit y avoir entre les quan- « tités d'eau qui se rendent à la mer par les fleuves et celles « fournies par les pluies une différence égale à la quantité d'eau « absorbée par les terres. Ce n'est donc pas à l'évaporation, « ainsi qu'on le pense généralement, mais à l'absorption qu'on « doit attribuer cette différence.

« Les quantités d'eau qui s'évaporent à la surface des con- « tinents et celles que l'absorption fait disparaître offrent une « sorte de constance, d'un pays à un autre, comparativement « aux grands écarts qui affectent celle de la pluie, d'où une loi « remarquable d'équilibre naturel en vertu de laquelle reste « constante la différence entre l'eau tombée et celle écoulée « par les fleuves, différence qui, en humectant les plantes, la « terre et l'atmosphère, est le principe de toute vie.

« Une citation vous fera juger de la manière distinguée dont « l'auteur a traité cette partie de son sujet (Voir ce qui con- « cerne l'équilibre des débits annuels, pages 87 et suivantes).

« Le chapitre III traite des crues, de leurs inconvénients et « de leurs avantages; tout ce que contient ce chapitre est en- « core fort habilement présenté.

« L'auteur commence par reconnaître que les inondations « sont une loi de la nature, et que comme telles elles ont un « but essentiellement utile. Il montre qu'elles furent indispen- « sables dans les temps anciens pour recouvrir d'un limon fer- « tilisant les sols couverts alors de débris pierreux et les rendre

« propres à la culture; que, sans elles, une foule de vallées « très-fertiles seraient encore couvertes de tourbières, de ma- « rais ou de graviers stériles.

« Il expose que, quoiqu'on ne connaisse aujourd'hui les « inondations que par leurs effets destructeurs, provenant, « soit de la grande masse de leurs eaux qui les fait se répandre « et séjourner plus ou moins de temps sur une vaste surface « dont elles détruisent les récoltes, soit de la vitesse de ces « eaux qui les rend capables de bouleverser profondément le « sol, de renverser tout ce qui se trouve sur leur passage, elles « ont cependant encore leur utilité de nos jours pour rendre « par leurs limons la fertilité aux terres épuisées par la culture, « pour donner, par l'emmagasinement de leurs eaux, les « moyens d'irriguer les terres, d'imprimer le mouvement aux « usines et de maintenir la navigation des rivières en basses « eaux ; enfin pour garantir les embouchures des rivières contre « les envahissements des dépôts de la mer.

« Les avantages qu'aurait l'emmagasinement des eaux des « crues pour l'agriculture, l'industrie et la navigation, sont « immenses et parfaitement décrits par notre auteur. Ce qu'il « faut donc, à son avis, ce n'est pas de s'attacher à rendre les « inondations impossibles, car on ruinerait par là tous les pays « d'alluvion, mais c'est de chercher à les rendre moins désas- « treuses et plus bienfaisantes.

« Il reconnaît que plus la masse des eaux sera considérable « et plus l'inondation aura d'étendue ; mais il fait voir que cet « envahissement, sous la condition de vitesses modérées, sera « plutôt un bien qu'un mal, en raison des dépôts qui se pro- « duiront, et qui sont supposés être toujours de nature fertili- « sante. Pour lui l'amortissement des vitesses est tout le secret « des mesures à prendre contre les inondations [1].

[1] M. le rapporteur exprime ici le regret d'avoir à signaler quelques lacunes dans l'ouvrage qu'il analyse. Il aurait désiré des explications sur l'influence de la fonte des neiges et des glaces, sur la nature plus ou moins fertilisante des divers limons, sur la question de savoir si les inondations sont plus fréquentes et plus intenses aujourd'hui qu'autrefois.

L'auteur s'est empressé d'avoir égard à ces observations, et, pendant

« Le chapitre IV traite du système longitudinal, de ses vices « et de ses dangers. »

Après avoir fait connaître les opinions précédemment émises à ce sujet par MM. Boulangé, Polonceau. Baumgarten et Belgrand, le rapport continue en ces termes :

« Déjà fixés par tous ces écrits sur les inconvénients du sy- « stème d'endiguement longitudinal, les hommes de l'art ne « liront pas sans un vif intérêt les considérations neuves pré- « sentées à ce sujet dans le chapitre qui nous occupe; ils y « verront entre autres, exposées avec beaucoup de clarté, les « diverses causes de la submersibilité des digues, les diffi- « cultés que l'on rencontre à assigner une limite à leur hau- « teur, ainsi que les raisons pour lesquelles on n'a pu les con- « struire solides et l'énormité des dépenses qu'il y aurait à faire « pour les obtenir telles.

« Le chapitre V est relatif au système d'ouvrages à entre- « prendre pour conjurer les fâcheux effets des crues et pour « profiter de leurs avantages; c'est donc le plus important. Il « est divisé en deux sections : la première faisant connaître la « disposition générale des ouvrages; la deuxième présentant « les considérations auxquelles il faut avoir égard dans les « études à faire pour déterminer les bases essentielles des « projets.

« Les conditions essentielles auxquelles il paraît à l'auteur « qu'il faille satisfaire, c'est, d'une part, de laisser les eaux « des crues se répandre dans les vallées, qui pourront ainsi « recevoir leurs bienfaisants dépôts ; c'est, d'autre part, de « s'attacher à ce qu'elles y arrivent avec une vitesse assez « grande pour tenir en suspension leurs limons, et assez petite « pour qu'elles ne présentent rien d'offensif et de destructeur.

« Un moyen simple de réaliser ces conditions ce sera, selon « lui, de substituer au système de digues longitudinales, « jusqu'ici employé, celui de digues transversales en terre, qui

l'impression, son travail s'est enrichi de discussions très-approfondies sur ces importantes questions. (Voir pages 106, 246, 202.)

(*Note de l'éditeur.*)

« seront établies de distance en distance sur les plaines des « deux rives, normalement aux cours d'eau, qui auront leur « couronnement horizontal un peu plus élevé que celui des « plus fortes inondations et qui se relieront, d'une part aux « coteaux, d'autre part aux bords du fleuve, par des plans « inclinés.

« Dans les vallées déjà pourvues de digues longitudinales, « l'auteur pense, non sans regret, que les exigences de la cul- « ture pourront obliger à conserver celles-ci. Il propose alors « d'abaisser ces digues au niveau des crues ordinaires, de les « combiner avec des digues transversales et de les percer d'une « série de vannes qu'on ouvrira au moment du danger.

« Quant à l'étude des projets. l'auteur recommande d'abord « qu'avant de décider l'emplacement des réservoirs permanents « à établir dans un bassin déterminé, on se fixe bien sur les « valeurs relatives de la pluie dans les différentes parties de ce « bassin, sur la distribution que l'on y remarque des surfaces « perméables et imperméables : enfin sur les directions, les « longueurs et les pentes respectives des divers affluents « d'une même rivière, et il entre à ce sujet dans beaucoup de « développements relatifs au bassin de la Loire.

« Il présente ensuite des observations sur les situations « respectives des réservoirs placés à une très-grande distance « les uns des autres dans des bassins différents, mais tribu- « taires d'un même bassin principal, et montre qu'il est essen- « tiel d'apprécier les avantages et les inconvénients divers qui « peuvent résulter de leur mise en action simultanée.

« Il montre par quels procédés, très-simples et très-claire- « ment exposés, on parviendra à déterminer : 1° les volumes « de liquides à emmagasiner dans l'ensemble des réservoirs ou « les quantités cumulées de liquides qu'il conviendra de sous- « traire à l'écoulement général du fleuve, pour qu'à l'avenir « les hauteurs des crues soient maintenues dans des limites « assignées d'avance ; — 2° les longueurs à adopter pour l'espa- « cement des digues transversales, qui devra toujours être tel

« que l'eau coule sur les terres submergées avec une vitesse « réduite très-modérée.

« Le chapitre VI traite des modifications introduites à l'é« coulement des eaux par quelques travaux exécutés de main « d'homme et des divers systèmes proposés pour combattre les « inondations.

« Les puits artésiens exécutés, ne tirant des nappes souter« raines que la trois-centième partie des quantités fournies par « la pluie, n'ont aucune influence sensible; si le nombre de « ces puits venait beaucoup à être augmenté, ils trouveraient « leur compensation dans les puits absorbants que l'on creusera « certainement un jour pour se débarrasser des eaux nuisibles « de la surface.

« Les travaux de mines et ceux de drainage sont de véritables « réservoirs souterrains qui, aux époques critiques, emmaga« sinent les eaux surabondantes pour les rendre plus tard et « régulièrement aux cours d'eau naturels; ils offrent donc plu« tôt des garanties que des dangers.

« Les barrages construits sur les cours d'eau peuvent, d'après « leurs longueurs, avoir ou non de l'influence pour relever les « eaux en amont et pour aggraver par suite les effets des inon« dations.

« Les levées des chemins de fer et des canaux établis dans « les vallées dépourvues de digues enlèvent à l'emmagasine« ment des eaux, en temps de crues, de vastes espaces situés « derrière elles et deviennent une cause directe du relèvement « des niveaux dans l'étendue comprise entre elles et la rivière.

« Les canaux de dérivation destinés à recevoir une partie « des eaux qui affluent sur les fleuves et à diminuer ainsi les « hauteurs des crues, ne peuvent être considérés que comme « des ressources locales accidentelles, en raison des étroites « limites entre lesquelles se trouve resserrée leur utilité et des « dépenses très-considérables qu'ils occasionnent.

« Le système proposé par M. Polonceau, en 1847, et qui fut « alors reçu avec faveur dans le public, celui des rigoles hori« zontales creusées sur les terrains en pente, si utile sous le

« rapport agricole, est condamné ici, attendu qu'il occasion-
« nerait des dépenses excessives et serait d'une exécution très-
« difficile à obtenir; que son action ne pourrait, dans beau-
« coup de bassins, être généralisée au degré voulu, faute
« d'espace; que son efficacité pourrait être en défaut dans les
« circonstances les plus critiques; enfin que ce système ferait
« subir aux écoulements superficiels, pendant le printemps et
« pendant l'été, c'est-à-dire alors que les terres et les rivières
« ont un si grand besoin d'eau, des réductions qui devien-
« draient de véritables calamités.

« Enfin le reboisement des montagnes, généralement re-
« gardé comme un des principaux remèdes aux inondations,
« paraît à l'auteur devoir être plus nuisible qu'utile. Son opi-
« nion diffère tellement des idées admises, qu'elle mérite que
« nous l'examinions avec soin.

« Les forêts, dit M. Babinet, dans la *Revue des Deux-Mondes*,
« en retardant dans leur marche les courants d'air qui viennent
« les frapper, font obstacle aux couches qui les suivent,
« forcent ces dernières à s'élever comme le long d'une colline,
« et le refroidissement qui en résulte produit la pluie. Ainsi,
« autrefois il ne pleuvait jamais dans la Basse-Egypte; mais
« depuis que des plantations y ont été faites, l'obstacle pré-
« senté aux masses d'air par ces aspérités du sol les a soulevées
« et a produit le refroidissement et la pluie. Il ajoute que si la
« Meuse, dont le bassin a une si petite étendue, est cependant
« si considérable, cela tient à ce que les forêts qui couvrent
« les collines environnantes arrêtent et soulèvent l'air amené
« de la mer par les vents d'ouest, et déterminent des pluies
« abondantes que l'état boisé du bassin ne permet pas de réab-
« sorber. Ainsi, d'après l'opinion de ce membre distingué de
« l'Institut, c'est sur les forêts qu'il pleut le plus.

« L'auteur du mémoire que nous analysons, considérant
« que les forêts conservent l'eau sur le sol et qu'elles s'oppo-
« sent à son évaporation; que, par suite, les couches aériennes
« qui s'élèvent au-dessus d'elles sont les plus sèches d'entre
« toutes, et qu'étant rencontrées par des couches saturées,

« il ne doit y avoir que diffusion de l'eau à l'état aériforme « des unes dans les autres et non précipitation de pluie, en « conclut que c'est sur les forêts qu'il doit pleuvoir le moins.

« Cette divergence d'opinion paraît du reste tranchée par « une suite de faits qui semblent donner raison à notre au- « teur. D'après *Patria*, dans la première moitié du siècle pré- « cédent, il est tombé annuellement à Paris moins de pluie « que dans la première moitié du nôtre ; et cependant il exis- « tait, il y a cent ans, plus de bois qu'aujourd'hui.

« D'après les observations udométriques faites à Viviers, « par M. Flaugergues, de 1778 à 1807, les hauteurs moyennes « de pluies et les nombres moyens de jours pluvieux, consi- « dérés par époques de neuf années, ont été sans cesse en « augmentant ; ce n'est donc pas seulement l'intensité de la « pluie, c'est aussi la fréquence qui va sans cesse en croissant « de siècle en siècle, et, comme l'a observé M. Arago, de telles « variations ne sont guère favorables à l'opinion que les pays « boisés sont ceux dans lesquels il pleut davantage.

« Enfin, d'après M. Baumgarten, la fin du siècle dernier a été « pour la Garonne plus remarquable par les crues élevées que « ces derniers temps, quoique aujourd'hui il y ait dans la plaine « une plus grande quantité de mattes ou digues, qui resserrent « le champ des inondations et tendent à en élever le niveau, « et quoique nos montagnes soient plus défrichées qu'il y a « soixante et soixante-dix ans.

« Les forêts régularisent-elles du moins les écoulements su- « perficiels des eaux fluviales ? L'auteur ne le pense pas.

« Ici encore les faits semblent lui donner raison pour un « bassin, il est vrai, dont les cours d'eau ne sont point ali- « mentés par des glaciers, et dont les bois sont peuplés d'arbres « feuillus.

« Il résulte, en effet, des observations faites par M. Belgrand, « dans le bassin de la Seine, que l'irrégularité des écoulements « entre la saison chaude et la saison froide varie du double « au simple, suivant que les versants des bassins sont boisés ou « non.

« Concluons donc de tout ceci que le déboisement peut bien, « contrairement aux idées généralement accréditées, et ainsi « que le pense notre auteur, produire plus de pluie dans « l'année et moins d'eaux torrentielles, en même temps qu'il « sert à donner plus de blé.

« Le chapitre VII et dernier traite des dépenses, voies et « moyens.

« L'auteur, malgré les incertitudes naturelles de l'évaluation « des dépenses nécessitées par la mise en pratique de son sy-« stème, pense, avec raison, qu'il est bon de chercher quel sera « le chiffre approximatif de ces dépenses, afin de déterminer « le système financier qu'il conviendra d'adopter.

« Il estime avec beaucoup de soin, quant au bassin de la « Loire, les dépenses de réservoirs, de digues transversales, « vannes, canaux de dérivation et de décharge, création d'un « lit d'étiage, ouvrages sur les affluents, etc., et les porte à une « somme de 70 millions qui, quintuplée, lui donne pour la « France entière une dépense de 350 millions. Ce chiffre est « très-considérable, sans doute, mais il égale à peine le sixième « de la dépense de deux années de guerre, et procurera de « longues années de prospérité.

« L'auteur estime à 24 millions la charge annuelle qu'il con-« viendra de s'imposer pour ces travaux ; considérant ensuite « que ceux-ci doivent profiter à la fois à l'Etat et aux pro-« priétaires, commerçants et industriels des pays inondés, il « porte à 12 millions la part de l'Etat et à une somme égale « celle des particuliers, qui seront imposés proportionnelle-« ment à la zone d'inondation dans laquelle ils se trouveraient, « absolument de même qu'en fait de desséchement de marais.

« Ce revenu annuel de 24 millions, au lieu d'être appliqué « directement à l'exécution des travaux, sera employé à payer « les annuités relatives aux intérêts et à l'amortissement d'un « emprunt de 350 millions, qui permettra de faire ces travaux « dans un bref délai.

« Ici se termine l'excellent mémoire inscrit sous le n° 791. « Ces détails ont dû vous faire reconnaître qu'il offre d'émi-

« nentes qualités qui dévoilent l'ingénieur habile et pratique.
« Nous espérons que, prenant en considération le haut mérite
« d'un mémoire dont la publication ne pourra que vous faire
« honneur, vous n'hésiterez pas à décider, avec nous, qu'il est
« digne du prix que vous avez offert. »

Nous ne saurions rien ajouter à cette exposition ; elle donne une idée complète du plan de l'ouvrage ; elle fait pressentir tout ce que les pages qu'on va lire contiennent de remarquable ; elle constate le mérite d'un travail qui assure un progrès à la science, en même temps qu'il apporte aux intérêts matériels du pays des garanties de sécurité impatiemment attendues.

INTRODUCTION[1].

« Quant au système général à adopter pour
« mettre, dans l'avenir, à l'abri de si terribles
« fléaux nos riches vallées traversées par de
« grands fleuves, voilà ce qui manque encore
« et ce qu'il faut absolument et immédiate-
« ment trouver. »

(*Lettre de S. M. l'Empereur Napoléon III* à M. le ministre de l'agriculture, du commerce et des travaux publics.)

Après les désastres produits, en 1856, par les inondations dans toute l'étendue de notre territoire, l'esprit public fut vivement préoccupé en France. Ce

[1] Nous croyons utile, autant pour éviter tout reproche de plagiat que pour laisser à chacun le mérite et la priorité de ses œuvres, de constater ici que notre travail, bien qu'il ne soit rendu public que vers le milieu de 1857, était complétement terminé avant la fin de l'année 1856, et que, dès le mois de décembre dernier, la copie du manuscrit en avait été remise à l'Académie de Bordeaux.

ne fut pas seulement parmi ceux que le fléau avait frappés que se montrèrent de profondes afflictions; la douleur fut universelle; les simples spectateurs, comme les victimes, portèrent le deuil de cette immense calamité.

C'est que, quoi qu'en disent quelques moralistes inquiets, il ne faut pas croire qu'il n'y a qu'égoïsme dans la raison humaine; il ne faut pas croire que nous sommes descendus assez bas pour que le récit des grandes infortunes se borne à frapper nos oreilles et à intéresser notre esprit, sans entrer dans le fond de nos cœurs; il ne faut pas croire qu'il n'y a plus trace dans nos âmes de ces inspirations divines qui engendrent la sympathie, la commisération, la charité.

Faisons la part, je le veux bien, de quelques exceptions, de quelques natures mauvaises, moins encore par elles-mêmes peut-être, que par les imperfections inévitables d'un milieu social quel qu'il soit; n'étudions pas les bons instincts de l'homme chez quelques individus seulement; mais cherchons à connaître, et c'est là l'essentiel, ce qu'ils sont dans

les masses. Eh bien! nous n'hésitons pas à le dire, nous trouverons dans cette étude plus de consolations que de mécomptes; la somme du bien, Dieu merci, l'emportera sur celle du mal.

Lorsque, sur nos côtes hospitalières, une foule attentive et inquiète suit les mouvements du navire battu par les vagues, quels sont les sentiments qui animent cette réunion d'hommes, spectateurs impuissants ou défenseurs intrépides? Une seule pensée fait battre tous les cœurs, une pensée de salut; et cependant les marins en péril sont le plus souvent des inconnus, mais ce sont des frères en humanité.

Que la cloche d'alarme annonce le danger d'un incendie ou celui d'une inondation, les bras et les cœurs courent à ce danger, l'affrontent, luttent contre lui avec cette indomptable persévérance, avec ces sublimes dévouements que le génie du bien sait seul inspirer et pousser jusqu'à l'héroïsme.

Et dans ces luttes mêmes qui s'élèvent quelquefois entre les nations, dans ces sanglantes batailles où le mal semble triompher, gardons-nous de croire que

les instincts généreux de l'homme ont disparu; non, ce n'est pas le besoin de donner la mort, ce n'est pas la soif du sang qui pousse le soldat: c'est pour répondre à l'appel de la patrie qu'il se soumet un instant aux nécessités de la destruction; c'est pour le salut commun de ses camarades, combattant sous le même drapeau, qu'il cherche à donner la mort, en faisant d'ailleurs lui-même le sacrifice de sa vie. Mais que la victoire vienne couronner ses efforts, qu'il ait assuré un nouveau triomphe à la cause de son pays, il fera autant et plus encore pour protéger l'adversaire terrassé, qu'il n'avait fait pour briser sa résistance.

Parce que notre civilisation n'est pas parfaite, est-ce à dire pour cela qu'elle n'est pas un progrès et que la condition de l'homme sur la terre n'a pas subi, sous son influence, de salutaires transformations? Quelques impatiences voudraient mieux encore, et nous le comprenons; mais elles oublient trop facilement que l'arbre ne prend pas en un jour toute sa part de ciel et de terre, qu'il faut plusieurs années à l'homme pour se développer en force et en

intelligence; elles ne réfléchissent pas assez à cette longue accumulation de siècles qu'il a fallu à la puissance créatrice pour façonner la terre telle que nous la voyons et que nous en jouissons aujourd'hui; elles semblent avoir rayé de leur programme qu'il faut savoir faire la part du temps, du temps dont la main de Dieu lui-même n'a pu se passer.

C'est qu'en effet l'homme n'a pas reçu le don d'improviser ses moyens de défense contre les calamités physiques et morales qui peuvent l'assaillir; ce n'est qu'à la suite de longues et attentives observations, de persévérantes études, qu'il parvient à remonter jusqu'à la source du mal, à combattre ses fâcheux effets, et, ce qui est mieux encore, à le transformer quelquefois en de véritables prospérités.

Cessons donc de dépenser stérilement les forces vives de notre intelligence en récriminations souvent injustes et dangereuses, parce qu'elles ne sont ni assez réfléchies, ni assez désintéressées. Étudions avant de critiquer; le véritable bien ne peut être fondé qu'à ce prix.

Ce que nous avons à faire, c'est de chercher avec

constance et bonne volonté la loi de l'enchaînement des choses humaines, c'est de nous tenir en défiance contre de funestes préjugés qui sont si souvent un temps d'arrêt pour le progrès, c'est de nous appliquer à rechercher les vices de ce qui existe; c'est, enfin, de nous livrer à d'incessants et honorables efforts pour pressentir, pour comprendre les améliorations de l'avenir, et pour les propager ensuite sans haine, sans égoïsme, sans irritation, mais avec cette puissance de conviction que donne à l'esprit l'étude de la vraie science, avec ces élans généreux qu'inspire l'amour de l'humanité, avec cette foi vive qui remplit le cœur de l'homme, lorsqu'il a la confiance qu'une suprême sagesse préside aux destinées du monde et règle l'ordre successif de leur accomplissement.

L'exemple donné par le chef de l'État, dans ces temps de douloureuse mémoire où nos fleuves débordés portaient la désolation dans nos champs et dans nos villes, ne doit être perdu pour personne. S'il y avait alors de grands malheurs à déplorer, de cruelles infortunes à soulager dans le présent, il y avait de

plus grandes catastrophes encore à éviter dans l'avenir. Or, c'était en sondant la profondeur du mal que la nécessité de le détruire devait paraître plus impérieuse ; c'était en étudiant ses effets que la pensée de remonter jusqu'aux causes devait naître et se développer, que la possibilité d'éviter au pays le retour de si terribles calamités devait entrer dans les conceptions de l'homme qui, après avoir assuré le salut de la France, a reçu la mission de la diriger dans la voie du progrès.

A Dieu ne plaise qu'on veuille voir dans nos paroles autre chose qu'un hommage rendu à nos plus sincères convictions. Car cette possibilité de conjurer les désastres des inondations, cette confiance dans l'utilité des moyens à mettre en œuvre, cet espoir en un meilleur avenir, nous y croyons autant que qui que ce soit. Or, plus l'entreprise se montre grande et utile, plus ses conséquences ajouteront, selon nous, aux richesses agricoles et industrielles du pays, plus aussi doit-il nous être permis de ne pas séparer la pensée qui veut réaliser l'œuvre de l'œuvre elle-même, et de placer à côté des prospérités et des joies

du bienfait le tribut de reconnaissance qui doit s'élever jusqu'au bienfaiteur.

Qu'on ne s'imagine pas d'ailleurs qu'il est peu utile d'insister sur cet ordre de considérations. On serait dans l'erreur, si l'on croyait qu'on peut se dispenser de dire au pays que les espérances descendues du trône ne sont pas de vaines promesses, que la confiance du chef de l'Etat n'est ni une témérité, ni une aspiration vers le bien plutôt généreuse qu'efficace. Si, à cet égard, on rencontre quelques esprits convaincus, le nombre des incrédules est grand encore. Que de fois n'avons-nous pas entendu répéter qu'en matière d'inondations, les efforts de l'homme sont et resteront impuissants, que la lutte est inutile et la victoire impossible!

Sans doute, pour celui qui se complaît dans son scepticisme, pour celui qui se borne à voir la succession des événements sans étudier leur dépendance, il doit paraître bien difficile d'empêcher les désastres produits par les eaux qu'on a laissé s'accumuler librement dans nos rivières. Sans doute, il est impossible d'arrêter le torrent lorsqu'il est formé, et d'anéantir

ses vitesses lorsqu'on leur a laissé prendre une puissance supérieure à celle qu'au moment même du danger on peut leur opposer.

N'en est-il pas ainsi de tous les fléaux? des révolutions morales comme des désordres physiques? Mais si l'homme connaît les causes des épidémies et parvient à les détruire dans leur principe, n'est-il pas vrai que nous serons à l'abri de leurs invasions? Si l'homme sait maîtriser les premières étincelles d'un feu destructeur, n'est-il pas vrai que l'incendie ne se propagera pas?

Et pourquoi donc devrions-nous admettre en principe que nos vallées sont fatalement condamnées à être périodiquement ravagées? Serait-ce que dans ses sages desseins la Providence n'a pas voulu permettre à l'homme d'améliorer sa demeure terrestre, et qu'elle lui a fait don de l'intelligence, à la condition de ne pas s'en servir? Pourquoi perdrions-nous à tout jamais l'espérance que nous parviendrons à diminuer par nos travaux la masse des eaux qui envahit nos plaines aux époques d'inondation? Pourquoi, si nous ne pouvons complétement mettre les

terrains à l'abri d'une submersion, cette submersion ne serait-elle pas calme au lieu d'être torrentielle, réparatrice plutôt que malfaisante? Pourquoi une partie de ces immenses volumes d'eau, qui portent en tous lieux la dévastation, ne serait-elle pas tenue en réserve pour contribuer plus tard aux irrigations, à la production de forces industrielles, à l'amélioration de la navigation de nos fleuves pendant les sécheresses?

Eh! quoi, nous n'avons pas assez de prairies, nous n'avons pas assez d'eau pour arroser celles qui existent, et nous ne songerions pas à mettre à profit les excédants des crues pour améliorer les anciennes et en créer de nouvelles!

Presque toutes nos usines hydrauliques subissent en été des chômages ruineux, et nous ne comprendrions pas que nous avons le plus grand intérêt à augmenter les volumes de liquide qui les mettent en mouvement!

Nous construisons, à grands frais, des bassins d'alimentation pour nos canaux artificiels, et nous oublierions que nos rivières manquent souvent d'eau,

que la navigation y devient impossible, et que de vastes réservoirs seraient le meilleur moyen de mettre un terme à leurs fâcheuses intermittences!

Ce programme est séduisant, trop séduisant peut-être, dira-t-on, et de nombreuses incrédulités l'accueilleront avec le sourire de la méfiance. Nous ne nous sommes pas dissimulé cet écueil, et déjà il s'est dressé contre nous; mais le choc, loin d'amortir nos forces, les a ravivées. Il nous a appris qu'à la persévérance de l'inertie il faut opposer la persévérance de la lutte; qu'aux fatales erreurs des préjugés il faut répondre par les salutaires clartés de ce qui est vrai. Sans doute, dans ce combat, on ne parvient pas toujours à convaincre ceux qui se posent en adversaires; mais on triomphe souvent de l'indifférence qui n'avait pas encore réfléchi, des hésitations qui n'étaient pas assez éclairées, des sympathies qui n'attendaient que l'instant favorable pour obéir à de généreux essors.

Si les hommes se déterminent rarement à prendre l'initiative d'une impulsion, ils l'acceptent volontiers quand on a convaincu leur intelligence, et surtout

quand on marche soi-même résolûment dans la voie où on veut les conduire. Le navire, captif à la surface glacée des mers polaires, est condamné pendant un long hiver aux ennuis de l'inactivité; comme le liquide qui l'entoure, il a perdu le mouvement et la vie; mais que la chaleur de l'été vienne fondre les liens qui l'enchaînent, que le balancement des vagues soulève ses flancs, que le courant commence à s'établir, et, docile au flot qui le pousse, il ira, sur un océan sans entraves, explorer les voies nouvelles qui s'ouvrent devant lui et qu'illumine dans le lointain la consolante perspective d'un meilleur horizon.

Or, cette initiative, nous n'avons pas craint de la prendre, et déjà d'honorables suffrages ont encouragé nos efforts; cette impulsion, que nous voulons imprimer aux intelligences, nous montrons en quoi elle est utile, nous expliquons comment elle doit être féconde; cette voie dans laquelle nous disons qu'il faut entrer, nous en avons ouvert les portes, indiqué la direction, parcouru les étapes.

Car nous ne pouvions admettre que la suprême

Sagesse, qui a permis à l'homme d'entrevoir tant d'heureux résultats, lui eût refusé les ressources nécessaires pour les réaliser. Nous ne pouvions pas, nous ne voulions pas croire que la pensée de transformer de violents désastres en de grands bienfaits fût une pensée, généreuse sans doute dans son principe, mais complétement stérile dans ses conséquences.

Et c'est parce que nous ne l'avons pas cru, parce qu'il nous a été impossible de supposer un instant que l'homme a atteint le terme des améliorations qu'il est en droit d'espérer ici-bas, c'est parce que toutes les observations que nous avons eu l'occasion de faire dans le cours d'une longue carrière nous ont de plus en plus démontré qu'il y a dans nos projets autre chose que des illusions; c'est par tous ces motifs que, lorsque l'Académie de Bordeaux a mis au concours cette importante question des inondations, qu'elle a sagement demandé dans son programme, non-seulement d'étudier le fléau dans ses causes et dans ses effets, non-seulement d'indiquer les meilleurs procédés pour le combattre, mais encore de

rechercher les moyens d'en tirer profit, nous nous sommes déterminé à répondre à son appel et à lui adresser l'exposé de nos consciencieuses recherches.

Nous avons eu le bonheur de convaincre l'Académie, elle a pris notre travail au sérieux ; elle n'a pas cru que ce que nous avons proposé fût un simple jeu de l'esprit s'exerçant sur quelques principes théoriques, elle a eu confiance dans la réalisation de nos idées, et elle a chargé son président de nous faire connaître que, par un vote unanime, elle décernait à notre travail la palme du concours.

Désormais, nous ne marcherons donc plus seul dans la carrière. Fort de l'appui de l'Académie, soutenu par des sentiments sympathiques, qui sont la plus douce récompense du travail, et dans lesquels viennent se retremper les forces de l'intelligence, nous entrons aujourd'hui en communication avec le public, nous venons lui soumettre notre œuvre.

Puisse cette œuvre faire disparaître des inquiétudes qui sont encore loin d'être dissipées ; puisse-t-elle ramener la confiance dans les esprits et les

convaincre qu'il est possible de mettre un terme aux calamités du passé; puisse-t-elle faire comprendre à tous que, dans ces mêmes phénomènes qui ont été la cause d'immenses désastres, la France peut trouver, dans un prochain avenir, la source de nouvelles et puissantes prospérités!

ÉTUDES

SUR

LES INONDATIONS

Dieu dit à Noé :
« Lorsque le ciel sera couvert de nuages
« et que la pluie tombera sur la terre, je
« verrai mon arc dans les nues et je me
« souviendrai de l'alliance perpétuelle qui
« est entre moi et l'homme. »

Nécessité de procéder à une étude très-approfondie des données de la question.

Ce n'est le plus souvent que parce que nous ne cherchons pas à nous bien pénétrer de tout ce que renferment les données d'une question, que nous nous trouvons placés dans la fâcheuse alternative ou de ne pouvoir la résoudre, ou de ne lui appliquer que de mauvaises solutions.

L'intéressant problème qui consiste à mettre les terres, les maisons, les richesses commerciales et industrielles, la vie des hommes à l'abri des funestes effets des inondations, n'échappe pas à cette grande vérité. On sera bientôt convaincu, nous l'espérons, que si on s'était sérieusement occupé de rechercher ce qu'est une crue, tout ce qu'il y a dans les crues soit en bien, soit en mal, on aurait été naturellement conduit, sans aucun effort et avec une grande précision, à la détermination fort simple des meilleurs moyens à mettre en œuvre pour utiliser ce qu'elles

ont de bon, comme pour combattre ce qu'elles ont de mauvais.

Mais, parce qu'on ne s'est pas suffisamment appliqué à étudier la marche des écoulements d'eau consécutifs de la chute de la pluie, parce qu'on a négligé de se demander si, à côté des désastres produits par l'accumulation des masses liquides, la nature n'avait pas placé de larges et belles compensations dont il était possible à l'homme de profiter, nous avons fort incomplétement connu les lois suivant lesquelles se produisent les épanchements des eaux de nos fleuves à la surface de la terre, et, en ce qui concerne plus particulièrement les crues, nous n'avons guère vu que leur violence, nous avons ignoré les nombreux avantages qu'avec un peu de travail elles peuvent procurer à la société.

Appelé par divers incidents de notre carrière à faire de nombreuses études de desséchements et d'irrigations, à exécuter d'importants travaux hydrauliques sur deux rivières torrentielles dans le midi de la France, nos idées se sont souvent arrêtées sur les considérations diverses qui se rattachent à la distribution et au régime général des eaux sur le globe. Il est résulté de ce travail incessant de la pensée un ensemble d'observations spéciales, d'appréciations théoriques et expérimentales que nous avons plus tard réunies en corps de doctrine, et dont l'exposé nous paraît devoir précéder toute discussion qu'on voudrait sérieusement entreprendre sur le système de travaux à exécuter le long de nos fleuves.

Coment pourrions-nous, en effet, avoir la préten-

tion d'arrêter efficacement les écarts que présente le phénomène de la pluie, si les lois qui régissent ce phénomène ne sont pas de notre part l'objet d'une étude suffisamment développée? Comment pourrions-nous avoir la conviction que les travaux que nous serions disposés à entreprendre pour conduire les eaux, faciliter leur cours ou le combattre, produiront des effets réellement utiles, si les causes premières des écoulements, de leur abondance comme de leur pénurie, de leur régularité comme de leurs caprices, nous sont en partie cachées? L'expérience s'est malheureusement chargée de répondre à ces questions, et nous ne dirons rien que de vrai en constatant ici que si les travaux entrepris jusqu'à ce jour pour conjurer les effets des crues ne sont pas essentiellement défectueux, ils sont tout au moins inefficaces. Les effrayants désastres dont sont aujourd'hui victimes toutes nos vallées ne laissent aucun doute à cet égard.

Si donc nous voulons être en mesure d'apprécier avec exactitude les résultats que nous devons attendre de telle ou telle autre nature d'ouvrages, si nous voulons être fixés sur ce qu'il peut y avoir d'acceptable ou de dangereux dans les propositions si diverses, si nombreuses, mais, il faut le dire, si peu étudiées, que les inspirations du bien public ou celles de l'amour-propre individuel enfantent et propagent chaque jour, ce n'est qu'à la condition d'avoir préalablement procédé à une étude spéciale du phénomène de la pluie, de l'avoir analysé dans ses causes premières et dans ses conséquences pro-

chaînes ou éloignées, d'avoir ainsi posé, dès le point de départ et sur la direction que nous devons suivre, des jalons sûrs, des repères invariables vers lesquels se reportera incessamment notre pensée lorsqu'elle sentira le besoin d'éclairer les incertitudes de la discussion.

Ordre d'idées suivant lequel le problème des inondations nous paraît devoir être résolu.

Nous avons la confiance qu'en suivant cette marche, qu'en procédant à un examen consciencieux des divers faits qui précèdent, accompagnent et suivent le phénomène que nous voulons étudier, nous serons parvenu à dégager la question des inondations de tout ce qu'elle renferme encore d'incertain; nous aurons fait justice, non-seulement des préjugés du public, mais encore, il faut le dire, des préventions de certains hommes éclairés; nous aurons apporté enfin quelques lumières sur un sujet qui intéresse à un si haut degré la société, et dont les solutions actuelles sont sinon radicalement vicieuses, du moins incomplètes à certains points de vue, et peut-être exagérées sous d'autres rapports. Peut-être le lecteur trouvera-t-il que nous avons fait plus encore; car le programme que nous nous sommes proposé ne se borne pas seulement à l'étude scientifique du phénomène et de ses causes, à la recherche des moyens propres à le combattre et à le maîtriser; nous avons voulu aller plus loin, nous avons essayé de savoir s'il n'est pas possible de tirer profit de ces crises, aujourd'hui si terribles, pour améliorer nos

terrains, nos usines et nos fleuves. Programme doublement avantageux au pays, parce que non-seulement il pose la question des inondations dans ce qu'elle a de plus étendu, de plus complexe, de plus universel, mais qu'encore il élargit le champ de ses conséquences utiles, puisque la condition à remplir est double : détruire le mal et lui substituer le bien.

Or, nous avons d'autant plus l'espoir d'avoir approché du but, que notre travail confirme dans toute leur étendue les prévisions de ce programme : c'est-à-dire que l'étude raisonnée du phénomène et de ses causes conduit, non-seulement à la découverte des mesures à prendre contre ses dangers, mais encore à celle des procédés à mettre en œuvre pour tirer profit de ses bénéfices ; conséquence remarquable à un haut degré, qui a été pressentie par quelques-uns ; mais qui est généralement inconnue du public et dont beaucoup d'esprits éclairés, à en juger par le système de travaux poursuivis jusqu'à ce jour, n'ont certainement pas eu conscience.

En procédant à cet ensemble de recherches, nous ne sommes pas tellement resté dans le champ des généralités que nous n'ayons suffisamment indiqué ce qui devrait être pratiqué pour chaque fleuve d'après les diverses circonstances hydrauliques, topographiques, agricoles, qui lui sont propres; de sorte qu'en consultant notre travail, on pourra préparer sans peine, nous l'espérons, le programme spécial des opérations à entreprendre pour chaque cas particulier. Il nous a paru que ce n'est pas au delà de ces limites que nous devions étendre nos re-

cherches sur tout ce qui concerne les applications spéciales de notre système au bassin d'un fleuve quel qu'il soit. Pour faire plus, il faudrait procéder aux études complètes de ce fleuve depuis sa source jusqu'à la mer et à celles de tous ses affluents, c'est-à-dire embrasser une étendue considérable de la surface de notre territoire et scruter les détails de l'hydrologie, de la topographie, de la géologie, de l'état agricole de toutes les vallées situées dans cette étendue.

Un tel développement d'études exigerait un personnel nombreux, un temps considérable et une liberté d'action ou une spécialisation de fonctions administratives que les circonstances ne mettent pas à notre disposition. Procéder ainsi, ce ne serait pas seulement indiquer l'ensemble des mesures à prendre pour un fleuve, suivant les généralités de son régime, ce serait établir un projet de détail dans lequel chaque circonstance particulière serait prise en considération, analysée et pesée; or, c'est ce qu'on sera toujours à temps d'exécuter après coup.

L'essentiel, aujourd'hui, et nous pensons que tel est le but principal qu'on doit se proposer, c'est de faire disparaître les incertitudes qui règnent sur la question; c'est de définir un système de travaux soit de défense, soit d'aménagement des eaux; de démontrer son utilité pour combattre le mal et réaliser le bien; d'indiquer les variétés dont il est susceptible, suivant les principaux cas dans lesquels peuvent se trouver les vallées; c'est, en un mot, d'établir les bases essentielles des opérations, de faire connaître les principes

généraux qui devront servir de fil conducteur au travail de réalisation. Cela une fois fait, l'œuvre des ingénieurs, éclairée par cette discussion, dirigée, quant aux vues d'ensemble, par d'utiles préceptes, procédera aux études de détail, spécialisera l'emplacement des travaux, tracera sur le terrain les directions à suivre, calculera les mètrés, évaluera les dépenses, appliquera en un mot à chaque contrée les règles dont la théorie aura consacré l'exactitude et l'utilité.

Après ces explications qui nous ont paru nécessaires pour donner une idée de notre plan et en justifier les dispositions, procédons à l'exposé de nos recherches.

CHAPITRE I.

ÉTUDES SUR LE PHÉNOMÈNE DE LA PLUIE ET SUR SA DISTRIBUTION APRÈS SA CHUTE.

De la connexion intime qui existe entre le phénomène de la pluie et celui de l'évaporation à la surface des mers.

D'où provient la pluie qui alimente nos fleuves, arrose la terre, rafraîchit l'atmosphère et entretient la vie organique à la surface de notre planète?

Elle est produite par la précipitation des vapeurs d'eau que contiennent les couches aériennes.

D'où proviennent à leur tour ces vapeurs?

De l'Océan, immense laboratoire à la surface duquel l'action incessante des courants, des rayons solaires, de l'électricité, entretient une continuelle et puissante évaporation.

Donc, sans évaporation marine, point de pluie; donc aussi, plus cette évaporation sera énergique, plus la pluie aura d'intensité; plus l'évaporation sera faible, moins la pluie sera abondante.

De là résulte qu'il y a un rapport naturel et inévitable entre les quantités d'eau que nous recevons et celles qui s'évaporent à la surface des mers. Essayer de réagir sur les unes, c'est en même temps et forcément réagir sur les autres; vouloir qu'il tombe plus ou moins d'eau de l'atmosphère, c'est vouloir qu'il s'en échappe plus ou moins de l'Océan; car, si

ce dernier fait ne se produisait pas en même temps que le premier, si, pendant que l'intensité de la pluie se modifierait en plus ou en moins, celle de l'évaporation restait invariable, la permanence du niveau des mers aurait irrévocablement cessé d'exister, et les plus grands intérêts de la société humaine seraient subitement mis en péril; qu'on nous permette quelques observations à ce sujet.

Permanence du niveau de l'Océan.

Accoutumés que nous sommes à considérer l'Océan comme arrêté par une barrière infranchissable, nous acceptons sans étonnement cette grande loi naturelle de l'équilibre du globe, et ce n'est que par la méditation que tout ce que cette loi renferme de providentiel impressionne nos esprits. Quelle ne serait pas notre surprise si nous apprenions tout à coup que l'Océan élève ou abaisse graduellement son niveau? Et, en effet, l'un ou l'autre de ces événements, en détruisant à tout jamais la fixité des côtes, ne serait-il pas de nature à compromettre l'avenir de la civilisation?

Qu'on réfléchisse à l'immensité des efforts qu'ont dû faire les sociétés pour assurer, en quelques points isolés, la forme actuelle de nos ports et leur utilité maritime, dont toute l'importance dépend si souvent de quelques décimètres en plus ou en moins dans le tirant d'eau; qu'on prenne en considération ce développement si vaste, si varié, si universel, de relations commerciales, industrielles, politiques et sociales, qui toutes, plus ou moins, ont pour étape un

port de mer, et on restera profondément pénétré de cette vérité, que si la constance du niveau de l'Océan est pour l'humanité un élément essentiel, indispensable de progrès, la variabilité de ce niveau, dès l'instant où elle viendrait prendre place dans le domaine des faits naturels, serait le point de départ d'une décadence fatale, de la ruine peut-être des sociétés modernes.

Cependant, en présence des causes si diverses qui influencent à chaque instant la répartition des eaux à la surface du globe, si quelque chose doit étonner, c'est que l'effet général de toutes ces causes produise finalement l'équilibre. Au point de vue chimique, l'eau ne se décompose-t-elle pas et ne se reconstitue-t-elle pas dans une foule de combinaisons? Au point de vue de la nature organique, n'est-elle pas successivement prise et rendue dans les actes de la végétation et de la nutrition animale? Au point de vue météorologique, ne s'élève-t-elle pas sous forme de vapeur et ne se précipite-t-elle pas en pluie? Enfin, au point de vue géologique, l'espace occupé par les eaux, incessamment agrandi par les prises de possession consécutives aux abaissements de certaines côtes et par leurs propres déjections sur la terre ferme, ne se resserre-t-il pas, d'autre part, par les dépôts fluviatiles, par la formation coquillière des roches sous-marines, par les soulèvements de quelques parties de nos continents? Or, qu'un équilibre constant de niveau soit la conséquence de ces perpétuelles mutations, que ces augmentations et diminutions antagonistes de la masse des eaux, que ces

accroissements et réductions de leurs volumes se compensent avec une si merveilleuse exactitude, c'est là, ce nous semble, une des plus éclatantes preuves de l'admirable intelligence qui a présidé à la distribution des forces vitales à la surface de notre planète.

Nous pouvons donc dire avec vérité que l'Océan ne reçoit ni plus ni moins par les pluies qui tombent directement sur sa surface, ou par celles qui lui sont amenées du continent à l'aide des écoulements apparents et souterrains, que ce qui lui est enlevé par le phénomène de l'évaporation ; de sorte que la première et la plus importante condition de l'équilibre des eaux qui font évolution sur le globe, c'est que la perte est égale au gain.

Incertitude des résultats qu'on obtiendrait en essayant de modifier le phénomène de la pluie.

Ces observations étaient nécessaires pour faire comprendre de prime abord l'immensité du problème qui consisterait à vouloir faire subir des augmentations ou des diminutions annuelles ou même de simples changements de distribution dans les volumes de la pluie. En cette matière, on le voit, il ne faut pas seulement considérer les continents qui reçoivent les pluies, il faut encore porter son attention sur l'atmosphère qui les envoie et qui peut conserver plus ou moins de vapeurs, et sur l'Océan qui les fournit ; il faut, en un mot, embrasser le cadre général des lois qui, en ce qui concerne l'élément liquide, régissent l'universalité de la création sur notre planète.

Or, que les entreprises de l'homme sur les continents, que les modifications qu'il fera subir à leur surface au point de vue agricole, exercent certaines actions sur l'atmosphère, et par suite sur l'Océan, cela est incontestable, puisque tout est intimement lié dans la nature. Mais que ces actions soient précisément celles qu'on voudrait obtenir, qu'elles ne soient pas un nouveau fléau plutôt qu'un bienfait, c'est ici que le doute devient légitime et que les appréhensions peuvent à bon droit assiéger nos esprits. En changeant l'état agricole du sol, en faisant, par exemple, une plus large part à la production forestière, nous transformerons, je le veux bien, les phénomènes existants; mais l'important n'est pas de modifier, c'est de savoir comment on modifie. Quand cela sera fait, aurons-nous plus d'eau dans l'année ou en aurons-nous moins? Si les quantités ne changent pas, l'ordre nouveau qui présidera à leur distribution sera-t-il favorable ou contraire? Je crains fort que ceux qui ont mis en avant le système du reboisement n'aient pas sérieusement réfléchi aux grandes difficultés d'un pareil sujet, et qu'ils aient plutôt cédé à quelques préventions venues du dehors et à une vague aspiration vers le bien qu'à des convictions résultant d'une étude raisonnée des choses. Je crains surtout qu'ils n'aient pas suffisamment remarqué tout ce qu'il y a de complexe dans le phénomène de la pluie, qu'ils n'aient pas entrevu que ce phénomène met en jeu les terres, l'air et l'Océan; que ce qui tombera sur les premières est intimement lié à ce que gardera le second, à ce que fourniront

les mers; qu'aujourd'hui, entre toutes ces choses, il y a un remarquable et puissant équilibre et qu'essayer de le rompre serait une grande imprudence, tant qu'on ne sera pas parfaitement fixé sur la nature des conséquences que pourrait entraîner cette tentative.

Notre intention, on le comprendra sans peine, n'est pas de traiter en ce moment ce sujet avec tous les développements qu'il comporte : nous y reviendrons dans la suite. Mais il nous a paru utile de montrer, dès le début, combien il est nécessaire dans toutes les questions de ne jamais perdre de vue le point de départ, combien il importe d'être bien fixé sur la valeur des premiers éléments, de bien apprécier tout ce qu'ils renferment, tout ce qu'ils excluent. Déjà, on le voit, d'importantes conséquences découlent de cette manière de procéder; elles sont une première confirmation de la vérité des observations que nous avons placées en tête de cet écrit; d'autres ne tarderont pas à les suivre.

Distribution de la pluie après sa chute.

Après avoir donné ce premier aperçu sur les causes générales de la production de la pluie, occupons-nous de ce qu'elle devient après sa chute.

La pluie qui tombe sur nos continents doit être divisée en deux catégories distinctes.

La première coule à la surface du sol et se rend à la mer, conduite par les cours d'eau naturels qui sillonnent l'écorce du globe.

La seconde peut se subdiviser en deux parties :

l'une s'évapore quelques instants après la chute de la pluie, à la surface du sol mouillé, ou s'échappe, pendant le cours de l'année entière, des couches qui forment la nappe supérieure des cours d'eau ; l'autre est absorbée par les terres. Une portion de celle-ci se rend aussi à la mer, soit en venant reparaître par la voie des sources dans les parties basses des vallées, soit en aboutissant directement jusqu'à elle par voie souterraine; l'autre portion de l'eau absorbée est destinée à alimenter la végétation dans sa période annuelle.

Dans ce qui va suivre, la première catégorie constituera ce que nous appellerons l'écoulement de surface ; la seconde catégorie, comprenant soit l'évaporation, soit l'écoulement souterrain et l'imbibition des terres, sera ce que nous désignerons sous la dénomination d'absorption totale.

Toute l'eau de pluie ne se rend pas à la mer.

Il est donc certain que tout le liquide fourni par la pluie ne se rend pas directement à la mer. Une partie, s'échappant des cours d'eau et de la terre, rentre dans l'atmosphère à l'état de vapeur ; une autre partie passe dans l'organisme végétal à l'aide de l'aspiration puissante des racines, se répand dans la masse des plantes et des arbres et concourt avec les autres agents de la nutrition, auxquels elle sert en grande partie de véhicule, à la formation du ligneux, des feuilles, des fleurs et des fruits. L'excédant de cette eau, en vertu de l'activité organique, s'évapore incessamment à la surface de chaque plante, pendant toute la durée de sa croissance annuelle, jusqu'à ce

que, le temps de la dessiccation des feuilles étant venu, le mouvement du liquide s'arrête, et que le jeu des fonctions vitales, désormais soumis à d'autres conditions, cesse d'être en rapport appréciable avec les agents extérieurs.

La tranche d'eau qu'on mesure annuellement dans l'instrument appelé *pluviomètre* contient donc autre chose que le liquide formé par la précipitation des vapeurs sorties du sein des mers; elle renferme aussi cette portion de la pluie elle-même qui, absorbée d'abord par les terres, s'échappe dans l'air après avoir alimenté la vie végétale et se condense de nouveau; elle renferme en outre celle qui retourne librement et directement dans l'air lorsque le sol est humide, celle enfin qui s'élève à la surface des cours d'eau.

Toutes les vapeurs de l'Océan ne se précipitent pas sous forme de pluie.

Mais, d'un autre côté, et comme pour faire compensation à cet excès de la substance productrice de la pluie, ce que cette tranche ne contient pas des vapeurs produites par la mer, c'est toute cette humidité qui mouille le terrain sous forme de rosée et de brouillard et toute celle que les végétaux, par une action contraire à la précédente, et en vertu du double mouvement général d'inspiration et d'expiration inhérent à tous les êtres organisés, absorbent par tous les points de leur ramification superficielle. Citons au sujet de ce dernier phénomène la remarque suivante de M. de Humboldt :

« Si quelques contrées des tropiques, où il ne

« tombe jamais de pluie ni de rosée sensible et dont « le ciel reste constamment pur de nuages pendant « cinq et même sept mois, nous offrent cependant « un grand nombre d'arbres couverts d'une fraîche « et gracieuse verdure, c'est sans doute que les par- « ties appendiculaires (les feuilles) possèdent la fa- « culté d'absorber l'eau de l'atmosphère par un acte « particulier à la vie organique[1]. »

Quant à la rosée, on sait combien, dans certains pays et en certaines saisons, elle est abondante; on sait aussi combien la quantité d'humidité qui, par les brouillards et certains vents de mer, couvre le sol, les murs et pénètre dans l'intérieur des habitations, est quelquefois considérable : « Entre les tropiques, « dit M. Charles Martins, quand le soleil est au zé- « nith, l'air est si humide, même en Afrique, que les « vêtements, les souliers sont imbibés d'eau, et les « habitants se trouvent dans un bain de vapeur per- « manent[2]. »

Dans les hautes latitudes le phénomène de la précipitation des vapeurs existe aussi, mais en se modifiant et prenant le caractère propre aux climats froids.

« Dans les plaines du nord, dit M. Lamé, la neige « qui recouvre le sol atteint une hauteur de plusieurs « pieds, même aux lieux où il en est tombé peu de « l'atmosphère; il n'y a que les dépôts de vapeur for- « més pendant les nuits, le plus souvent belles dans « ces climats, qui puissent expliquer cette accumu- « lation. C'est sans doute de cette manière que se

[1] *Cosmos*, tome I, page 399.

[2] *Un million de faits*, colonne 356.

« forment la neige et la glace sur les pics élevés des « chaînes de montagnes[1]. »

Ainsi, d'une part, il y a d'autres vapeurs que celles produites par la mer qui concourent à former la valeur de la tranche d'eau de pluie annuelle mesurée par les instruments, et, à ce point de vue, cette tranche, considérée comme représentant la valeur de l'alimentation marine, exprimerait un résultat trop fort; et, d'autre part, les vapeurs marines que contient l'atmosphère ne se déposant pas toutes sous forme de pluie, la mesure de celle-ci serait insuffisante pour indiquer la valeur précise de l'évaporation océanique.

Compensation hypothétique entre ces deux ordres de faits inverses l'un de l'autre.

Y a-t-il compensation exacte entre ces deux ordres de phénomènes inverses l'un de l'autre? Nous sommes disposé à le penser, et dans ce qui va suivre nous en exposerons les motifs. Mais, qu'on le remarque bien, ce n'est là qu'une probabilité qui nous paraît grande, à la vérité, et non une complète certitude. Lorsque les phénomènes de la nutrition et ceux de la végétation des corps organisés seront appréciés et mesurés dans tous leurs détails, lorsqu'on aura évalué d'une manière précise la quantité d'humidité que les brouillards, la rosée et les vents déposent sur le sol, on pourra introduire, dans la mesure de la tranche

[1] Lamé, *Cours de physique* professé à l'Ecole polytechnique, tome I, page 552.

d'eau de pluie annuelle, la part soustractive ou additive résultant de la combinaison de ces deux éléments contraires, et alors nous connaîtrons avec la dernière précision ce que les mers produisent de vapeurs.

Mais pour qu'une hypothèse introduite dans l'examen d'une question soit acceptable, il ne suffit pas qu'elle réunisse en sa faveur quelques apparences de probabilité, il est nécessaire de prouver qu'alors même que cette hypothèse ne recevrait pas des faits une confirmation complète, elle ne saurait cependant apporter de profondes modifications dans les conclusions finales. S'il n'en était pas ainsi, si la solution définitive de la question qu'on traite était très-sensiblement influencée par le plus ou moins de vérité qu'il faudrait attribuer à une supposition introduite dans le cours de la discussion, il est évident qu'on n'aurait rien résolu. Le résultat obtenu ne serait pas même une approximation, ce serait une incertitude.

Évaluation des quantités d'eau qui s'évaporent après la chute de la pluie et qui rentrent dans l'atmosphère.

Or, pour fixer les idées sur l'importance relative de l'hypothèse dont il est ici question, essayons d'évaluer la totalité d'eau de pluie qui, d'après le dénombrement précédent, au lieu de se rendre à la mer immédiatement après sa chute, subit une nouvelle évaporation et rentre dans l'atmosphère.

Cette eau se compose de trois parties :

1° Celle qui s'échappe pendant toute l'année de la surface des rivières et des cours d'eau secondaires;

2° Celle qui s'évapore du sol après que celui-ci a été mouillé par la pluie;

3° Celle qui fait évolution dans les plantes pour les besoins de la végétation.

Nous allons procéder à la détermination de leurs valeurs respectives.

1° A la surface des cours d'eau.

Pour avoir une idée, sinon parfaitement exacte, du moins suffisamment approchée, de la perte d'eau appartenant à la première des trois catégories ci-dessus, j'ai procédé à l'évaluation des surfaces qu'occupe l'ensemble des cours d'eau dans trois bassins, savoir : ceux du Lot et du Tarn, qui me sont plus spécialement connus, et celui de la Seine.

Le premier, compris depuis sa source jusqu'à la station de la Madeleine, qui sépare les plus anciennes formations de celles dites jurassiques, est presque exclusivement composé de terrains primitifs et plutoniques.

Le second, qui s'étend depuis la source jusqu'à la jonction de son artère principale avec la Garonne à Moissac, contient un tiers de terrains jurassiques et un tiers de terrains tertiaires.

Le troisième, limité à Paris, renferme un tiers de terrains jurassiques et deux tiers de terrains tertiaires, à l'exception d'une petite partie de terrains primitifs et plutoniques, comprise entre Avallon, Château-Chinon et Saulieu, qui n'est guère que le quarantième du bassin général.

Ces bassins se trouvent donc, au point de vue géologique, dans des conditions très-variées.

Cela posé, voici le résultat de nos recherches.

1° Pour le bassin du Lot:

Surface mouillée occupée par la Trueyre et ses affluents.	10,100,000 m. c.
Surface occupée par le Lot et ses affluents, moins la Trueyre.	18,100,000
Total de la surface mouillée du bassin.	28,200,000 m. c.

Supposant maintenant, ainsi que cela est généralement admis, que l'évaporation journalière moyenne a pour mesure dans nos contrées 4 millimètres, on trouve pour toute l'année une perte égale à 41,736,000 mètres cubes. Or, l'étendue totale du bassin du Lot jusqu'à la station de la Madeleine est de 7,200 kilomètres carrés, d'où il suit que le liquide perdu par évaporation, s'il était uniformément répandu sur l'ensemble du bassin, représenterait une tranche de 0^{m},0058 de hauteur.

2° Pour le bassin du Tarn:

Surface mouillée occupée par l'Aveyron et ses affluents.	20,200,000 m. c.
Surface mouillée occupée par l'Agout et ses affluents.	10,400,000
Surface occupée par le Tarn et ses affluents autres que les précédents.	42,000,000
Total de la surface mouillée du bassin.	72,600,000 m. c.

En acceptant pour l'évaporation journalière la même base que précédemment, on trouve pour toute l'année une perte égale à 107,448,000 mètres cubes;

ce volume d'eau, réparti sur toute l'étendue du bassin du Tarn, qui occupe une surface de 15,100 kilomètres carrés, correspond à une tranche de 0^{m},0071 de hauteur.

3° Pour le bassin de la Seine :

Surface mouillée occupée par l'Yonne et ses affluents.	37,100,000 m. c.
Surface occupée par l'Aube et ses affluents.	21,300,000
Surface occupée par la Marne et ses affluents.	70,200,000
Surface occupée par la Seine et ses affluents autres que les précédents. . . .	50,400,000
Total de la surface mouillée du bassin.	179,000,000 m. c.

Continuant d'admettre une évaporation journalière de 4 millimètres, il en résulte pour toute l'année une perte annuelle de 264,920,000 mètres cubes. Or, l'étendue totale du bassin de la Seine en amont de Paris étant de 44,000 kilomètres carrés, il s'ensuit que l'eau perdue représente sur l'ensemble du bassin une tranche de 0^{m},0060 de hauteur.

Il y a, comme on voit, peu de différence entre ces trois résultats, et nous croyons pouvoir conclure de ces recherches que dans nos climats, et probablement dans toute l'Europe, la perte par évaporation à la surface des cours d'eau a pour mesure une tranche de 0^{m},0063, moyenne entre les trois nombres ci-dessus.

Avant d'aller plus loin, nous ne devons pas négliger de faire observer que, dans les recherches de la nature de celles dont nous nous occupons ici, il ne

saurait être question de déterminations spéciales, applicables seulement à telle ou telle autre localité. Ce sont des résultats généraux moyens que nous cherchons à obtenir, parce que, seuls, ils sont aptes à nous conduire à la connaissance des faits principaux concernant de vastes étendues, et à nous donner une idée des lois générales qui président à la production des phénomènes naturels considérés dans leur ensemble.

Voilà pourquoi, en faisant application des calculs précédents à des rivières dont les sources, partant des régions centrales de la France, se dirigent les unes vers le midi, les autres vers le nord, nous avons pu apprécier ainsi ce qui doit moyennement se produire dans notre pays ; voilà aussi pourquoi cette première connaissance étant acquise pour la France, qui jouit d'un climat moyen par rapport au reste de l'Europe, nous avons pu admettre que ce qui a lieu chez nous est très-probablement la représentation de ce qui se passe en moyenne sur la totalité de cette grande division de la terre ; c'est, enfin, par ce motif que nous avons pris pour mesure de l'évaporation le taux moyen de 4 millimètres par jour. Ce taux aurait dû varier, si nous avions eu pour but spécial de déterminer séparément, soit ce qui concerne le midi, soit ce qui concerne le nord ; mais, dans l'intention où nous étions d'apprécier la valeur d'une moyenne, c'était aussi de la valeur moyenne de l'évaporation que nous devions faire usage.

Cette valeur est-elle rigoureusement exacte ? Les observations ne sont pas assez nombreuses pour qu'il

soit possible de l'affirmer; mais tout concourt à faire admettre qu'elle est certainement fort approchée de la vérité. Pour s'en convaincre, nous donnons ci-dessous, d'après M. de Gasparin, le relevé de tous les renseignements recueillis en Europe sur l'intensité annuelle de l'évaporation. Les nombres qui figurent dans ce tableau expriment des millimètres.

	mm.		mm.
Londres..........	754,7	Rome............	2462,0
La Rochelle.......	628,5	Catane...........	1602,4
Poitiers..........	807,8	Gênes............	2041,9
Lille.............	887,0	Vienne...........	1856,8
Midlebourg.......	528,2	Lons-le-Saulnier..	772,6
Rotterdam........	625,4	Pontarlier........	626,1
Breda............	628,7	Troyes...........	825,5
Sparendam........	855,9	Montmorency.....	590,0
Delft............	752,5	Montdidier.......	608,0
Rieux............	685,6	Laon.............	525,5
Toulouse.........	649,0	Haguenau........	550,5
Genève..........	1210,1	Gœttingue........	479,8
Orange..........	1875,8	Manheim.........	534,6
Cavaillon........	2192,1	Copenhague......	209,8
Arles............	2565,4	Stockholm........	391,8
Marseille........	2289,2	Total........	31767,2
Moyenne pour l'année et pour l'Europe............			1025,0

A cette moyenne pour l'année en correspond une par jour de $2^{mm},81$, qui diffère d'environ un tiers de celle que nous avons adoptée. Mais il importe de remarquer que, tandis que les observations dont nous venons de donner le détail ont été faites à l'ombre et à l'abri, l'évaporation que nous nous sommes proposé d'évaluer a lieu, au contraire, au grand air, en plein soleil, sous l'influence des courants naturels, et

qu'elle doit être, par conséquent, beaucoup plus énergique. En ayant égard à ces conditions, toutes éminemment favorables à un excès de production, le taux adopté de 4 millimètres paraît être dans un rapport convenable avec celui de 2mm,81.

Au reste, une incertitude à cet égard ne saurait avoir aucune grave conséquence, et cela tient à ce que, d'une part, cette incertitude doit être fort légère, et, d'autre part, à ce que la tranche annuelle de la partie d'évaporation terrestre que nous venons d'évaluer a finalement une très-minime importance, comparativement à celle de la pluie ; elle n'en représente guère que le centième, et cette fraction est si petite, qu'elle pourrait être négligée à peu près en entier, sans grands inconvénients. C'est même là ce qu'offre d'essentiel cette première partie de nos recherches ; mais il était d'autant plus utile de rendre cette conclusion inattaquable, qu'en matière d'évaporation il existe beaucoup de préjugés, même parmi les hommes éclairés.

2° A la surface du sol mouillé, après la pluie.

Essayons maintenant de déterminer la perte produite par l'évaporation qui se développe à la surface du sol mouillé, après la pluie. Cette perte doit être à très-peu près proportionnelle au nombre de jours de pluie, puisque c'est ce dernier phénomène qui y donne lieu. Or, il résulte des relevés météorologiques faits à ce sujet qu'on a pour l'Europe les résultats suivants[1] :

[1] Voir la *Météorologie* de Kaemtz, p. 139.

Désignation des contrées.	Nombre de jours de pluie.
Angleterre et France occidentale........	152
Centre de la France..................	147
Allemagne centrale...................	141
Bude (Hongrie)......................	112
Kazan (Russie)......................	90
Intérieur de la Sibérie...............	60
Scandinavie.........................	133
Russie..............................	101
Total..................	936
Moyenne...............	117

Les deux derniers renseignements qui concernent la Scandinavie et la Russie ont été extraits du *Cours d'agriculture* de M. de Gasparin.

Cette moyenne n'est pas complète, elle manque de l'élément relatif aux contrées les plus méridionales de l'Europe, savoir : le sud de la France, l'Espagne, l'Italie, la Grèce, la Turquie. Heureusement, nous pouvons y suppléer, d'une part, à l'aide d'un renseignement fourni par M. de Gasparin, qui attribue à la région méditerranéenne d'Europe 91 jours de pluie annuelle; d'autre part, et eu égard à une certaine similitude dans le climat, à l'aide de ceux du nord de l'Afrique, que nous devons à l'obligeance de M. Béguin, ingénieur en chef des ponts et chaussées à Alger. Il résulte d'une série d'expériences qui embrassent les dix années comprises de 1838 à 1847, expériences faites avec beaucoup de soin par M. Vidal, médecin en chef de l'hôpital militaire de Constantine, que, dans cette dernière province, le nombre annuel de jours ou de nuits pluvieux est moyennement de 112; en employant ces deux nombres con-

jointement avec les précédents, on trouve pour résultat moyen 114 jours de pluie.

Quant à la hauteur de la tranche d'eau ainsi évaporée à la surface du sol, nous ne croyons pas pouvoir l'évaluer, en moyenne, pour chaque pluie, à plus de 1 millimètre. Sur les eaux stagnantes, ainsi que nous l'avons dit, on admet que la moyenne journalière pour toute l'année, dans nos climats tempérés, est de 4 millimètres. Or, sur le sol mouillé, qui est un mélange d'eau et de terre contenant une bien plus forte proportion de celle-ci que de celle-là, qui est en outre privé de cette propriété des liquides, si favorable à l'évaporation, la mobilité, la perte doit être beaucoup moins grande.

Il faut d'ailleurs remarquer qu'il n'en est pas à beaucoup près de même de l'évaporation à la surface des amas d'eau et de celle qui s'opère sur le sol mouillé, après la pluie. Si la première atteint une valeur journalière moyenne de 4 millimètres, c'est qu'elle s'effectue régulièrement chaque jour, à chaque instant, et qu'elle profite en entier des chaleurs de l'été, pendant lesquelles l'alimentation même de l'évaporation, l'eau, ne manque jamais. Dans la seconde espèce d'évaporation, au contraire, la pluie est, sinon plus intense, du moins plus fréquente dans la saison froide, c'est-à-dire au moment où la force aspiratrice a le moins de valeur, et elle manque, au contraire, le plus souvent dans la saison où cette force atteint son maximum.

D'ailleurs, combien ne compte-t-on pas de pluies dans l'année qui n'atteignent pas même 4 millimè-

tres; il est facile de s'en faire une idée en remarquant que la moyenne de la tranche d'eau pluviale en Europe ne dépasse pas pour l'année $0^{m},552$ [1], ce qui, eu égard au nombre de fois que tombe là pluie, donne pour chaque fois une tranche moyenne de $4^{mm},8$. Il est donc certain que beaucoup de pluies sont loin de fournir 4 millimètres. Cela posé, si l'on admet, avec la plupart des ingénieurs, qu'en considérant, non pas quelques terrains en particulier de nos zones tempérées, mais leur ensemble, les 3/7 des eaux de pluie coulent à la surface pour se rendre dans les cours d'eau, il restera, pour ce que retient le sol, après chaque pluie, une tranche de $2^{mm},7$: or, toute cette quantité ne s'évapore pas; l'imbibition à travers les terres, destinée à alimenter la végétation et les sources, en soustrait nécessairement une très-grande partie. Nous croyons donc ne pas nous écarter beaucoup de la vérité en admettant que, distraction faite de ce prélèvement, une tranche de 1 millimètre au plus est reprise par l'évaporation, après chaque jour de pluie; d'où il suit que le volume d'eau que nous cherchons à apprécier en ce moment a pour valeur annuelle une tranche de $0^{m},114$ de hauteur.

3° Pour les besoins de la vie végétale.

La troisième partie des eaux qui rentrent dans l'atmosphère par évaporation est comprise dans

[1] Nous ferons connaître plus loin les données sur lesquelles cette appréciation est fondée.

celle que retiennent les terres, après la chute de la pluie.

Cette partie ne retourne pas immédiatement, comme les deux premières, dans les couches aériennes; ce n'est que peu à peu, et à mesure que le développement de la végétation s'effectue que ce retour a lieu. Nous ne pouvons donc espérer obtenir quelques notions précises sur cette phase du phénomène de l'évaporation qu'en étudiant quelques-uns des actes de la vie des plantes. Pour éclairer ce sujet, qui a de l'importance, non-seulement pour ce qui concerne la pluie, mais encore au point de vue agricole, nous nous sommes livré à des recherches que nous allons exposer.

On compte qu'il existe en France une surface de 4,198,198 hectares de prairies naturelles, lesquels produisent 105,203,888 quintaux métriques de foin, et il suit de là que chaque hectare rapporte en moyenne 2,560 kilogrammes, soit 0k,256 par mètre carré.

Mais les diverses natures d'herbes qui composent les prairies perdant en moyenne, par la fenaison, 66 pour 100 pour arriver à l'état sec, on en conclut qu'il faut trois parties d'herbes fraîches pour une de fourrage sec.

En conséquence, les 0k,256 récoltés sur chaque mètre carré contenaient, au moment de la coupe, 0k,512 d'eau.

Cela posé, quelque exagérée que doive paraître cette hypothèse, admettons que, chaque jour, depuis le commencement de la germination jusqu'à celui

de la fauchaison, les plantes reçoivent, pour les besoins de la nutrition, une quantité d'eau sans cesse renouvelée et égale à celle ci-dessus. Comme on peut évaluer en moyenne à 120 le nombre de jours écoulés depuis le moment où la germination commence jusqu'à celui où la maturité est arrivée, il s'ensuit que la quantité totale d'eau exigée par les herbes des prairies naturelles serait représentée par un poids de $61^k,44$, ce qui, sur un mètre carré, répond à une tranche de $0^m,06144$ de hauteur. Voudrait-on y ajouter un cinquième pour le regain, qu'on ne dépasserait pas $0^m,074$ pour la hauteur de la tranche.

Mais, nous le répétons, comme tout porte à croire qu'il y a exagération dans l'hypothèse que nous venons de faire, nous sommes conduit à conclure qu'il faut considérer la valeur ci-dessus comme une limite qui, à coup sûr, ne sera pas atteinte, et que, par suite, la quantité que nous cherchons à déterminer, restant en dessous de cette limite, doit avoir une valeur un peu moindre que celle qui vient d'être déduite des considérations précédentes.

Cette conclusion nous paraît d'autant plus admissible, que, de toutes les terres exploitées par l'agriculture, si l'on en excepte le jardinage, c'est dans celles à prairies qu'on rencontre la plus forte proportion de surfaces soumises à des arrosages artificiels.

Dans ses observations très-remarquables sur les courants intersticiels du sol arable, M. Baudrimont nous apprend que Hales a trouvé qu'un pied de houblon perdait 4 onces d'eau par jour. Il résulte de

cette observation qu'un arpent anglais, qui contient 9,000 pieds de houblon, doit perdre par exhalation 2,250 livres d'eau par jour.

Ces nombres correspondent à 2,521 kilogrammes d'eau par jour et par hectare, ou environ 250 grammes par mètre carré.

Si l'on admet qu'en moyenne la végétation fonctionne pendant six mois de l'année, on peut conclure de ces faits que les végétaux cultivés, en remplissant leurs fonctions physiologiques, extraient du sol une quantité d'eau qui correspond à $0^m,045$ de hauteur.

Nous allons, enfin, rapporter une observation qui nous paraît très-directe, et qui jette un grand jour sur la question [1].

On s'occupe beaucoup, dans ce moment, d'expériences ayant pour objet de résoudre l'important problème de l'absorption directe et immédiate de l'azote de l'air par les plantes; parmi les études qui ont été faites dans ce but par M. Ville, il en est une sur laquelle nous allons nous appuyer.

M. Ville a pris deux quantités égales de blé, trente grains, représentant un poids de 75 grammes; il les a placés dans deux pots remplis d'un égal poids, 4 kilogrammes de terre de même nature, et ayant une surface de 3 décimètres carrés.

L'un de ces pots a été exposé à l'air libre, et a, par conséquent, végété dans les conditions ordinaires. L'autre, au début de l'expérience, a été placé dans un seau contenant trois litres d'eau, puis il a été recouvert par une cloche en verre, et n'a plus été alimenté,

[1] Voir le journal le *Cosmos*, 28 avril 1854, page 515.

depuis le commencement de la germination jusqu'à l'époque de la maturité, par d'autre eau que celle qui, à l'origine, avait été déposée sous la cloche.

On faisait, d'ailleurs, passer tous les jours sous cette cloche deux mille litres d'air, afin que les plantes enfermées fussent aussi bien aérées que les autres.

Voici maintenant ce qui a été observé.

Les grains venus à l'air libre ont produit, savoir :

En paille desséchée.	10gr.,23
En grains.	2 63
Total.	12gr.,86

D'un autre côté, les graines enfermées ont donné :

En paille desséchée.	22gr.,20
En grains.	2 76
Total.	24gr.,96

La quantité de grains, dans les deux cas, est donc sensiblement la même, mais celle de la paille est plus du double dans le second.

« Dans la cloche, dit M. Ville, l'air était sans cesse « saturé d'humidité. A l'air libre, les cultures ont « éprouvé les alternatives d'humidité et de séche- « resse, par lesquelles une plante passe inévitable- « ment lorsqu'elle ne reçoit d'eau que par la pluie. « Dans la cloche, les racines des plantes plongeaient « dans une nappe d'eau ; ces différences sont suffi- « santes pour expliquer l'excès de paille obtenu. »

Maintenant, qu'on le remarque bien, dans ces deux essais comparatifs, tout est semblable : même

quantité de semence, même quantité de terrain, même nature de celui-ci, même surface, même aération. Une seule chose a pu varier, c'est la quantité d'eau, et il est impossible de ne pas attribuer à cette variation, comme le fait M. Ville, la différence obtenue dans les résultats. Or, puisque cette différence est celle du simple au double, ne doit-on pas en conclure que les plantes qui ont végété à l'air libre n'ont eu que la moitié au plus du liquide qui avait été primitivement donné à celles qui ont poussé sous la cloche ?

Nous disons la moitié au plus, parce que si nous savons que le volume d'eau n'a pas été supérieur à trois litres, nous ignorons s'il n'en restait pas à la fin de l'expérience. C'est là une circonstance que M. Ville, qui poursuivait un autre but que le nôtre, ne nous fait pas connaître.

Cela posé, la conclusion est fort simple à déduire. Les trois litres d'eau, répartis sur 3 décimètres carrés, occupaient une tranche de $0^{m},10$ de hauteur, et puisque les grains exposés à l'air libre n'ont donné que moitié récolte, et n'ont eu par conséquent, selon toute probabilité, que moitié de l'eau qu'avaient les autres, il s'ensuit que la tranche liquide qui a été absorbée par les besoins de leur développement végétal doit avoir une hauteur sensiblement égale à $0^{m},05$.

Nous retombons donc, par ce moyen, sur une valeur qui offre avec les précédentes l'accord le plus satisfaisant, et nous croyons être en droit de conclure que la tranche d'eau nécessaire aux besoins de

la vie végétale a pour mesure, dans nos climats tempérés, une hauteur comprise entre 5 et 6 centimètres.

Récapitulation.

Procédant maintenant à la récapitulation des divers résultats que nous venons d'obtenir, nous trouvons, savoir :

1° Que la quantité d'eau annuellement évaporée à la surface des cours d'eau peut être représentée par une tranche ayant une hauteur de.	0m,006
2° Que celle qui s'échappe à la surface du sol mouillé, après la pluie, est mesurée par une tranche de.	0 ,114
3° Enfin, que celle qui est absorbée et rendue par les végétaux correspond à une tranche de. .	0 ,055
Ce qui donne un total de.	0m,175

Il nous semble donc qu'on peut admettre, avec un haut degré de probabilité, que la quantité annuelle d'eau qui fait évolution dans l'atmosphère, soit par suite de l'évaporation sur les continents, soit pour les nécessités de la vie organique des plantes, peut, dans nos climats, être représentée par une tranche d'eau de 0m,175 de hauteur moyenne.

Confirmation de l'hypothèse émise ci-dessus sur la compensation qui existe entre les eaux de pluie qui font retour à l'atmosphère et les vapeurs océaniques qui ne se déposent pas sous forme de pluie.

Les mesures udométriques accusent donc, non-seulement la précipitation des vapeurs de l'Océan, mais encore celle des vapeurs qui, de la surface des

continents, font retour dans les couches aériennes. Mais, nous l'avons déjà dit, la rosée et les brouillards fournissent en compensation une certaine quantité d'eau qui échappe aux instruments; de plus, selon les remarques de M. de Humboldt déjà citées, les feuilles des végétaux soustraient de leur côté de la vapeur à l'atmosphère; ajoutons, enfin, que les udomètres ne rendent qu'un compte très-imparfait de la quantité d'eau tombée sous forme de neige, qu'à cet égard, ils sont presque toujours en déficit, que même ils n'accusent pas avec une rigoureuse exactitude celle de la pluie, lorsque la chute de celle-ci coïncide avec le vent.

Il serait assez difficile d'apprécier les valeurs respectives de ces diverses quantités. Ainsi, les plus grandes divergences d'opinion existent sur l'importance qu'il faut attribuer aux produits de la rosée.

Tandis que Dalton l'évalue pour l'année, en Angleterre, à 5 pouces, soit $0^m,127$, et Hales à $0^m,08$; M. Flangergues, pour le midi de la France, MM. Raddi et Nacca, pour Florence, ne lui assignent pas une valeur annuelle supérieure à 7 millimètres : on ne sait rien de la quantité d'eau que fournissent les brouillards et les vents humides ; on n'est pas plus avancé sur les déficits que l'influence du vent fait subir à la mesure udométrique de la neige et de la pluie.

Les épreuves numériques nous échappent donc dans cette circonstance, et nous devrions à cet égard rester dans l'incertitude, si nous n'étions éclairés par quelques grands faits qui possèdent la remar-

quable propriété de présenter une synthèse sommaire et concluante des diverses particularités qui nous occupent ici.

Lorsqu'on porte son attention sur les bassins de quelques-unes de nos grandes rivières, et qu'on cherche à se rendre compte des quantités respectives de pluie qu'ils reçoivent et de celles de liquide que leur artère principale conduit vers la mer, on remarque que ces dernières représentent presque toujours des tranches moindres que celles de la pluie, mais qui vont sans cesse en augmentant et se rapprochant d'elles à mesure que la perméabilité des terrains diminue. Il existe même des rivières, et il est presque inutile de faire remarquer que ce sont celles dont les bassins sont composés de terrains complétement imperméables, pour lesquelles la hauteur de la tranche d'eau correspondant à leur écoulement annuel est exactement égale à celle de la pluie.

Dans le sujet qui nous occupe, ce fait naturel a une trop haute importance pour que nous négligions d'en appuyer la justification sur quelques exemples.

Les ingénieurs italiens ont constaté que la quantité annuelle d'eau que laisse couler l'Adda, si elle était uniformément répandue sur toute l'étendue de son bassin, représenterait une tranche de $1^{m},296$ de hauteur [1]. Or, tout porte à croire que la valeur de la tranche d'eau pluviale moyenne, en Piémont et en Lombardie, ne dépasse pas ce chiffre. En effet,

[1] *Annales des ponts et chaussées*, année 1847, 1er semestre, p. 164.

la plus grande hauteur d'eau de pluie constatée par les mesures udométriques faites dans ce pays et en Suisse est celle du grand Saint-Bernard, qui a pour valeur 1m,555. Mettant donc en œuvre cette valeur avec celle de 1m,044 trouvée pour Milan, ville non loin de laquelle coule l'Adda, dans la partie inférieure de son cours, on a pour moyenne 1m,299, nombre très-rapproché de 1m,296.

En France, la rivière de Cure, un des affluents de l'Yonne, conduit à une conséquence pareille. M. l'ingénieur en chef Vignon a trouvé que le débit annuel de cette rivière aux Settons, à 4 kilomètres en amont de Montsauche, est représenté par un volume d'eau de 57,857,819 mètres cubes[1]. Nous concluons, de notre côté, de la discussion des mesures udométriques recueillies dans trois localités de cette contrée, Montsauche, Corbigny et Pouilly, que la pluie verse annuellement dans la partie du bassin supérieure aux Settons un volume de 58,963,000 mètres cubes, nombre qui ne diffère du précédent que de un soixante-troisième du débit.

Les études que nous avons faites nous-même sur le Lot nous ont donné un résultat analogue.

A la station de la Madeleine, qui forme la transition des terrains imperméables de ce bassin à ceux qui sont perméables, nous avons trouvé que les écoulements annuels, si leur volume total était uniformément réparti sur l'étendue du bassin

[1] *Annales des ponts et chaussées*, année 1853, 2e semestre, p. 160 et suivantes.

supérieure à cette station, auraient les hauteurs suivantes :

Années 1843,	hauteurs des tranches,	0m,714
1844	—	1 ,047
1845	—	1 ,388
1846	—	1 ,205
1847	—	0 ,823
1848	—	1 ,178
1849	—	1 ,047
	Total.	7m,402
	Moyenne.	1m,057

Cela posé, la tranche d'eau annuellement fournie par la pluie sur ce bassin est-elle sensiblement supérieure à ce nombre? Rien ne peut le faire supposer.

Remarquons d'abord que, même en admettant cette valeur, ce bassin, considéré dans son ensemble, serait, de tous ceux qui sont situés sur le versant océanique, celui de France sur lequel il pleuvrait le plus. En outre, si nous voulons recourir aux indications udométriques connues, et c'est en résumé le seul point d'appui légitime dont il soit permis de faire usage, il faudra remarquer que la partie du Lot dont nous nous occupons ici devra, d'une part, à cause du rapprochement de sa source vers le versant méditerranéen, participer de l'état pluvial de ce versant, et, d'autre part, à cause du reste de son cours, participer de celui du versant océanique. Or, en prenant pour ce dernier la plus forte des cotes pluviales connues pour les plaines, qui s'élève à 0m,777 pour la ville de Marmande, puis la plus forte pour les mon-

tagnes, qui atteint $1^m,150$ à Aurillac, et les combinant avec celle de la ville de Joyeuse, $1^m,266$, la plus considérable de celles que, dans le voisinage de ces contrées, on a obtenues pour la région méditerranéenne, on trouve pour moyenne $1^m,064$, qui ne dépasse que de 7 millimètres le nombre fourni par l'étude des débits du Lot.

Ainsi, pour le Lot comme pour la Cure et pour l'Adda, il coule autant d'eau dans la rivière que les mesures udométriques signalent de pluie dans l'année. Disons maintenant quelles conséquences résultent de ces faits.

Si des causes autres que la pluie n'intervenaient pas pour augmenter la quantité d'eau que reçoivent les continents, il est évident que jamais une rivière ne devrait laisser couler autant de liquide que la pluie en donne sur son bassin. Le maximum d'écoulement ne pourrait, en aucun cas, dépasser la différence qui existe entre cette pluie et la tranche de $0^m,175$ qui, faisant retour dans l'atmosphère, se trouve ainsi soustraite à l'écoulement de surface. Par conséquent, puisque le contraire arrive, puisque le débit des rivières peut surpasser cette différence, il faut admettre qu'indépendamment de la pluie, il y a d'autres phénomènes météorologiques qui contribuent à accroître l'arrosement du globe ; c'est en effet ce que nous avons reconnu en principe, et nous avons dit que ces phénomènes sont : la rosée, les brouillards, l'aspiration par les végétaux. Mais il y a plus, et, puisque l'excès entre la pluie et l'écoulement par les fleuves peut être atténué jusqu'au point

de devenir nul, ne faut-il pas en conclure que cette addition de liquide fournie par ces phénomènes, addition dont les instruments ordinaires n'enregistrent pas la quotité, est précisément égale au volume que l'évaporation soustrait à l'écoulement général. Il est évident, en effet, que lorsqu'on reconnaît qu'un déficit, sur lequel on devait naturellement compter, vient à faire défaut, lorsqu'on acquiert ainsi la conviction que la mesure de l'effet est supérieure à celle de la cause, on doit nécessairement admettre, pour faire justice d'une telle contradiction, qu'à côté des causes apparentes, appréciées et mesurées, il en existe d'autres, moins bien connues sans doute dans les détails, mais dont l'effet définitif est d'ajouter un supplément exactement équivalent à l'insuffisance des premières.

Il nous semble donc qu'on peut attribuer une grande vraisemblance à l'hypothèse que nous avons émise au sujet d'une compensation qui existerait entre le volume d'eau qui rentre dans l'air, par voie d'évaporation, après la chute de la pluie, et celui de liquide que l'atmosphère verse sur le sol sans le faire passer par l'état de pluie. D'ailleurs, les diverses appréciations numériques dont nous venons de donner les détails nous semblent de nature à montrer qu'au cas où cette compensation ne serait pas rigoureusement et complétement établie, la différence additive ou soustractive qui la remplacerait serait nécessairement d'une très-faible importance et tomberait, très-probablement, au-dessous des limites de l'approximation avec laquelle il est possible d'apprécier

aujourd'hui les deux éléments principaux du problème, savoir: la quantité annuelle de pluie qui tombe sur les espaces maritimes et continentaux et celle de l'évaporation à la surface des mers.

De l'infiltration à travers les terres.

Pour terminer ce qui concerne la distribution des eaux pluviales après leur chute, il nous reste à parler maintenant de la portion d'eau qui, pénétrant dans les profondeurs du sol, est définitivement soustraite aux actions de surface, et dont la fonction est ainsi limitée à l'alimentation des canaux souterrains et des sources : c'est ce que nous appelons l'infiltration à travers les terres.

Des expériences directes ont été faites pour évaluer ce volume d'eau. M. Hervé-Mangon, dans le remarquable article sur la science agricole dont il a enrichi le *Dictionnaire des arts et manufactures* publié par M. C. Laboulaye, nous les fait connaître. L'appareil employé pour cet objet a été créé par Dalton et porte le nom de ce physicien.

« La jauge de Dalton, dit M. Hervé-Mangon, est un « cylindre en métal de 0^m,30 de diamètre et de 0^m,91 « de profondeur, fermé par un crible fin à sa partie « inférieure et terminé par un réservoir destiné à « recevoir l'eau qui s'y accumule. Ce cylindre, rempli « de la terre même du champ où l'on opère, est en« foncé dans le sol de manière que sa base supé« rieure affleure la surface. »

Le tableau suivant résume les expériences de M. Dickinson faites au moyen de cet instrument.

Années.	Pluie.	Infiltration.	Rapports.
1836	0m,787	0m,448	0m,57
1837	0 ,536	0 ,177	0m,33
1838	0 ,560	0 ,216	0 ,39
1839	0 ,794	0 ,378	0 ,48
1840	0 ,547	0 ,210	0 ,38
1841	0 ,815	0 ,360	0 ,44
1842	0 ,671	0 ,299	0 ,44
1843	0 ,672	0 ,205	0 ,30
Moyennes.	0m,673	0m,287	0m,42

Ce tableau demande une courte explication, au sujet des rapports inscrits dans la dernière colonne. On peut remarquer que ces rapports ne sont pas constants. Ce fait n'a rien qui doive surprendre.

Il est d'abord évident que, toutes choses égales d'ailleurs, plus il sera tombé de pluie dans une année, plus les terres seront restées longtemps humides et plus grande par conséquent pourra être la proportion d'eau infiltrée.

En outre, pour une quantité égale de pluie annuelle, l'infiltration sera d'autant plus considérable que cette pluie sera tombée en plus fortes averses.

Ces deux considérations suffisent pour expliquer les variations très-notables qu'on observe dans la colonne des rapports.

Dalton avait fait, avant M. Dickinson, des expé-

riences analogues et avait obtenu les résultats suivants :

Années.	Pluie.	Infiltration.	Rapports.
1796	0m,778	0m,175	0m,22
1797	0 ,985	0 ,279	0 ,28
1798	0 ,794	0 ,188	0 ,24
Moyennes.	0m,852	0m,214	0m,25

Ces nombres sont très-différents des précédents, mais ils ne s'excluent pas pour cela les uns les autres : les variations entre les premières expériences et les secondes peuvent et doivent sans doute être expliquées par des différences dans la nature et la perméabilité des terres filtrantes.

Enfin, M. Charnock est parvenu avec le même appareil aux résultats consignés dans le tableau suivant :

Années.	Pluie.	Infiltration.	Rapports.
1842	0m,663	0m,115	0m,17
1846	0 ,638	0 ,171	0 ,28
Moyennes.	0m,650	0m,143	0m,22

Ces résultats se rapprochent beaucoup plus de ceux de Dalton que de ceux de M. Dickinson, ce qui ferait supposer que les terres sur lesquelles a opéré M. Charnock sont peu différentes de celles sur lesquelles Dalton a fait ses observations.

De ces expériences résulte cette conclusion très-digne de remarque que, dans le partage qui se fait des eaux de la pluie après sa chute, le fait de l'infiltration à travers les terres joue un rôle d'une grande importance. Ces expériences prouvent en effet

que, sans atteindre les limites extrêmes, l'infiltration peut, dans les cas ordinaires, s'élever jusqu'à 57 pour 100 de la pluie, et que la moyenne de son intensité aurait pour mesure le rapport de 35 à 100. Cette proportion considérable a été, jusqu'à présent, et fort à tort, selon nous, attribuée par la plupart des ingénieurs et des physiciens qui se sont occupés de ce sujet à l'évaporation plutôt qu'à l'infiltration. De là sont résultées plusieurs appréciations inexactes qui ont obscurci le débat et ont conduit les esprits à proposer et à mettre en pratique contre les inondations des mesures irrationnelles incomplètes et dangereuses. C'est un sujet que nous ne négligerons pas de traiter avec toute l'attention qu'il mérite. Dans ce moment nous nous bornons à cette simple observation; nous en développerons les conséquences essentielles dans les chapitres suivants.

DE LA MESURE DE LA PLUIE ANNUELLE

en France et en Europe.

Nous avons déjà eu occasion de mettre en œuvre des mesures udométriques qui s'appliquent à quelques contrées et nous avons promis de justifier leur valeur; cette justification est d'autant plus nécessaire que, dans la suite de cet écrit, nous aurons encore occasion de recourir à d'autres citations. Or, plus les conséquences auxquelles elles doivent prêter leur appui sont importantes, plus il est nécessaire que les nombres dont nous ferons usage ne puissent être suspectés. D'ailleurs, notre travail sur la pluie présenterait, ce nous semble, au point de vue pratique surtout, une lacune regrettable si nous ne faisions connaître ce que l'expérience a appris jusqu'à ce jour sur l'importance annuelle de ce phénomène. Nous présentons d'abord, dans les deux tableaux suivants, les documents qui s'appliquent au versant océanique et au versant méditerranéen de la France, nous exposerons ensuite ce qui concerne l'Europe.

Tableau de la quantité annuelle de pluie qui tombe en France sur le versant de l'Océan.

DÉSIGNATION DES LIEUX.	ALTITUDES	HAUTEUR des tranches.
Strasbourg	144m	0,685 P
Haguenau	?	0,678 P
Mulhouse	?	0,754 P
Metz	188	0,585 P
Nancy	200	0,569 P
Lille	24	0,666 (a)
Cambrai	53	0,420 D
Paris	26	0,502 P
Montmorency	106	0,690 D
Châlon-sur-Marne	82	0,475 P
Laon	180	0,669 D
Auxerre	122	0,628 P
Laroche-sur-Yonne	85	0,541 (b)
Montsauche	?	1,520 (c)
Montbard	185	0,574 (d)
Corbigny	?	0,766 (c)
Pouilly (lig. divisoire des deux mers)	400	0,808 (e)
Roanne	280	0,586 (f)
Aurillac	622	1,145 (g)
Bourges	156	0,515 P
Pont-le-Voy (près Blois)	?	0,936 P
Denainvillers (Loiret)	120	0,481 P
Chartres	157	0,541 P
Angers	47	0,520 P
Tours	55	0,565 D
Poitiers	118	0,580 P
Nantes	19	1,000 (h)
La Rochelle	25	0,656 P
Saint-Maurice-le-Girard (Vendée)	?	0,626 P
Bordeaux	7	0,622 (i)
Landes	?	1,000 D
Marmande	33	0,777 (k)
Espalais	109	0,666 (k)
Toulouse	147	0,791 (k)
Pau	235	1,085 P
Bassin de St-Féréol (ligne divisoire des deux mers)	270	0,625 (l)
Moyenne pour le versant de l'Océan		0,699

Les nombres suivis de la lettre P sont extraits de l'ouvrage intitulé *Patria*; ceux suivis de la lettre D, du *Dictionnaire des arts et manufactures*, article AGRICULTURE, par M. Hervé-Mangon.

(a) Moyenne entre 0,572 indiqué dans *Patria* et 0,760 donné par Prony, dans son ouvrage sur les *Marais Pontins*.

(b) Moyenne de 5 années de 1841 à 1845. Communication de M. l'ingénieur en chef Delaporte.

(c) *Annales des ponts et chaussées*, année 1853, 2e semestre, page 160.

(d) *Annales des ponts et chaussées*, 1842, 1er semestre, page 190.

(e) Moyenne de 7 années de 1839 à 1845. Communication de M. l'ingénieur en chef Delaporte.

(f) *Annales des ponts et chaussées*, 1846, 2e semestre, page 325.

(g) Moyenne entre 1,150 donné par le *Dictionnaire des arts et manufactures* et 1,140 indiqué par M. de Gasparin.

(h) *Annales des ponts et chaussées*, 1848, 2e semestre, pages 169 et suivantes.

(i) Moyenne entre 0,657 donné par Kaemtz (*Traité de météorologie*, page 138), 0,559 inscrit dans D et 0,650 indiqué par M. de Gasparin.

(k) *Annales des ponts et chaussées*, 1848, 2e semestre, page 60.

(l) *Histoire du canal du Midi*, par M. Andréossy, page 229.

Tableau de la quantité annuelle de pluie qui tombe en France sur le versant de la Méditerranée.

DÉSIGNATION DES LIEUX.	ALTITUDES.	HAUTEUR des tranches.	
Pouilly (ligne divisoire des deux mers).	400	0,808 (*a*)	Voir au tableau précédent pour la signification des lettres P et D. (*a*) Voir la note (*e*) du tableau précédent. (*b*) Moyenne entre 0,679 indiqué dans *Patria*, 0,752 communiqué par M. l'ingénieur en chef Delaporte, et 0,745 donné par M. de Gasparin. (*c*) Communiqué par M. Delaporte. (*d*) M. de Gasparin, *Cours d'agriculture*. (*e*) Moyenne entre 0,777 indiqué dans *Patria* et 0,890 donné par Prony. (*f*) Moyenne entre 1,172 indiqué dans *Patria* et 1,250 donné par M. de Gasparin. (*g*) Moyenne entre 1,000 donné par D et 1,105 par M. de Gasparin. (*h*) Moyenne entre 1,300 indiqué dans *Patria* et 1,257 donné par M. Dausse, *Annales des ponts et chaussées*, 1842, 1er semestre, page 190. (*i*) Moyenne entre 0,900 indiqué dans *Patria* et 0,889 donné par M. Dausse. (*k*) Moyenne entre 0,642 indiqué dans *Patria* et 0,622 donné par M. Dausse. (*l*) Moyenne de 12 années de 1834 à 1845. (*Mémoires de la société des Pyrénées-Orientales*, vol. VII.) (*m*) Voir la note (*l*) du tableau précédent.
Dijon.	241	0,712 (*b*)	
Saint-Jean de Losne	185	0,858 (*c*)	
Mâcon.	185	0,876 P	
Gray.	220	0,559 (*d*)	
Lyon.	165	0,833 (*e*)	
Lons-le-Saulnier.	258	1,020 D	
Bourg.	270	1,211 (*f*)	
Pontarlier.	838	1,052 (*g*)	
Joyeuse.	147	1,266 (*h*)	
Marciat (Ain).	?	1,450 (*d*)	
Alais.	132	0,991 P	
Saint-Jean-du-Bruel	?	1,358 (*d*)	
Viviers.	57	0,895 (*i*)	
Orange.	47	0,696 P	
Avignon.	36	0,569 P	
Arles.	?	0,423 P	
Marseille.	15	0,512 P	
Hyères.	?	0,747 P	
Toulon.	0	0,506 P	
Nîmes.	44	0,632 (*k*)	
Montpellier.	44	0,770 P	
Béziers.	70	0,447 P	
Perpignan.	35	0,560 (*l*)	
Carcassonne.	104	0,728 P	
Arquettes (Aude).	?	0,643 D	
Castelnaudary.	187	0,666 P	
Bassin de Saint-Féréol (ligne divisoire des deux mers).	270	0,625 (*m*)	
Moyenne du versant de la Méditerranée.		0,801	

En conséquence, la moyenne du versant de l'Océan est égale à $0^m,699$ et celle du versant de la Méditerranée à $0^m,801$. Or, comme les surfaces de ces deux versants sont dans le rapport de 4 à l'unité, on en conclura que la moyenne pour toute la France a pour expression $\frac{0,699 \times 4 + 0,801}{5}$, c'est-à-dire $0^m,719$.

Pluie en Europe.

Rendons compte maintenant des divers documents propres à nous faire apprécier l'intensité annuelle de la pluie dans les autres contrées de l'Europe et déduisons-en la moyenne applicable à cette partie du globe.

Angleterre.—La moyenne pour l'Angleterre, d'après Dalton, serait de $0^m,850$, ci. . . . . $0^m,850$

M. de Gasparin attribue savoir :

A la partie occidentale.	$0^m,954$	
A la partie orientale	0 ,674	
Somme. . . .	$1^m,628$	
Moyenne. . .	0 ,814 ci	0, 814

D'après M. Kaemtz[1], on aurait :

Pour la partie occidentale.	$0^m,950$	
Pour la partie orientale.	0 ,650	
Somme. . . .	$1^m,600$	
Moyenne. . .	0 ,800 ci	0 ,800

Ces trois résultats donnent une somme de. . . . . $2^m,464$
Ce qui conduit à une moyenne de. . . . . 0 ,821

C'est le nombre que nous adopterons pour les Iles Britanniques.

[1] *Traité de météorologie*, p. 138.

Suède et **Norwége.** — M. Kaemtz [1], attribue à la Suède une moyenne de. 0m,540

M. de Gasparin donne pour la Scandinavie :

Une première fois.	0 ,518
Une deuxième fois.	0 ,478
Il est probable que ces nombres s'appliquent à des zones différentes ; on déduit de là une somme de. . .	1m,536
Et par conséquent, une moyenne de.	0 ,512

Hollande et **Belgique.** — Il résulte des indications fournies soit par l'ouvrage *Un million de faits* [2], soit par Kaemtz [3], que la moyenne en Hollande serait sur les côtes 0m,680 et dans l'intérieur 0m,650, soit en moyenne. 0m,665

D'un autre côté, nous trouvons pour la Belgique, dans l'ouvrage *Patria* [4], le nombre. . . . . 0 ,700

Ce qui donne pour somme.	1m,365
Et pour moyenne	0 ,682

Danemark. — Nous n'avons qu'un seul renseignement concernant le Danemark, il nous est donné par M. de Gasparin, qui attribue à la ville de Copenhague une moyenne de 0m,468.

Ce nombre se rapproche beaucoup de celui de la partie orientale des Etats scandinaves. Cette considération, jointe à celle de la position de Copenhague, sur la côte est, nous porte à admettre pour le Danemark, très-rapproché d'ailleurs de la Suède et de la Norwége, le même nombre que pour ces deux pays, soit 0m,512.

[1] *Traité de météorologie*, p. 141.
[2] Colonne 358.
[3] *Traité de météorologie*, p. 138.
[4] Colonne 244.

Prusse, Confédération germanique, Autriche (moins la **Lombardie**). — Nous ne possédons aucun renseignement pour la Prusse proprement dite. Dans les provinces Rhénanes, nous ne connaissons que la cote de Coblentz, qui est 0m,553.

Pour l'Allemagne, M. de Gasparin donne une moyenne de 0m,678. Ce chiffre nous paraît considérable pour l'ensemble, et probablement il ne faut l'appliquer qu'aux parties septentrionales de ces divers Etats et non au centre; en l'acceptant dans ce sens et le combinant avec celui du Danemark et de la Suède, qui est 0m,512, on trouverait que la Prusse et une partie de la confédération germanique qui sont comprises entre ces deux régions reçoivent une tranche annuelle de pluie de 0m,595.

Pour les vastes plaines de l'Allemagne, M. Kaemtz conclut à une hauteur de 0m,540; enfin, le même auteur attribue à la Hongrie une moyenne de 0m,450. Réunissant ces données, on trouve :

Pour la Prusse et la partie nord de la Confédération germanique	0m,595
Pour la partie de l'Allemagne contiguë à la Prusse et pour le reste de la Confédération	0 ,678
Dans les plaines de l'Allemagne	0 ,540
Pour la Hongrie	0 ,450
Total	2m,263
D'où résulte une moyenne de	0 ,565

Russie. — C'est la contrée de l'Europe dans laquelle il pleut le moins. A Saint-Pétersbourg, la pluie n'est mesurée que par 0m,450. A Kazan, placé dans le grand centre continental, il n'en tombe que 0m,400.

M. de Gasparin n'attribue à la partie de l'empire russe située au nord du 55[e] parallèle que 0[m],404 de pluie. Quant à la partie qui s'étend au-dessous de ce parallèle, les observations manquent; mais nous pensons qu'on ne s'écartera pas beaucoup de la vérité en lui attribuant, comme aux plaines de l'Allemagne, une moyenne de 0[m],540. Prenant la moyenne entre ces deux cotes, nous croyons pouvoir assigner à la valeur de la pluie dans l'empire russe une tranche de 0[m],470 de hauteur.

Suisse. — Eu égard à la faible étendue de ce pays, les observations y sont assez nombreuses.

Nous trouvons dans les *Annales des ponts et chaussées*[1] les résultats suivants :

Vevey	0[m],900
Lausanne	1 ,024
Fribourg	1 ,108
Grand Saint-Bernard	1 ,555
Pour Genève, nous prenons la moyenne entre 0[m],704 donné dans les *Annales*, 0[m],776 donné par M. de Humboldt[2], et 0[m],758, indiqué dans l'ouvrage *Patria*; nous inscrivons donc	0 ,746

Nous trouvons enfin dans le *Dictionnaire des arts et manufactures*[3], et dans l'ouvrage de M. de Gasparin, les deux renseignements suivants :

Zurich	0 ,870
Berne	1 ,139
Total	7[m],342
On déduit de là une moyenne de	1 ,049

[1] Année 1842, 1[er] semestre.

[2] *Cosmos*, t. I, p. 570, note 5.

[3] Article AGRICULTURE.

Sardaigne, Lombardie et le reste de l'**Italie.**—Après la France, cette partie de l'Europe est celle pour laquelle les documents sont le plus nombreux. Voici les hauteurs de pluie annuelle recueillies dans plusieurs localités.

Grand St-Bernard.	1^{m},555	*Ann. des p. et ch.* 1842,	1er sem., p. 190.
Milan.	1 ,105	—	1847, 1er sem., p. 159.
	0 ,983	—	1853, 1er sem., p. 299.
Lodi	0 ,979	—	—
Brescia.	0 ,907	—	—
	1 ,251	M. de Gasparin, *Cours d'agriculture.*	
Pise.	1 ,244	—	—
Ivrée.	1 ,470	—	—
Parme.	0 ,800	—	—
Boulogne.	0 ,556	—	—
Chambéry.	1 ,650	—	—
Rome.	0 ,750	Bureau des longitudes.	
Naples	0 ,950	—	
Nice.	1 ,000	—	
Gênes.	1 ,400	—	
	1 ,346	M. de Gasparin.	
Venise.	0 ,810	Bureau de longitudes.	
	0 ,833	*Dictionnaire des arts et manufactures.*	
Padoue.	0 ,860	—	—
Turin.	0 ,934	—	—
Total. . .	21^{m},383		

De là on déduit une moyenne de 1^{m},069.

Ce résultat est confirmé par les recherches de M. Schow, citées par M. Kaemtz dans son *Traité de météorologie*. Cet observateur a divisé cette contrée en quatre régions pour lesquelles il a obtenu les mesures suivantes :

Bande des Alpes.	1^{m},496
Bande Transpadane.	0 ,927
Bande Cispadane	0 ,633
Bande des Apennins.	0 ,915
Total.	3^{m},971

Ces nombres conduisent à une moyenne de $0^m,993$, très-sensiblement égale à la précédente ; on s'en rapprocherait encore davantage, si, au lieu de prendre la moyenne simple, comme nous venons de le faire, on prenait la moyenne composée, en ayant égard aux surfaces respectives des bandes.

Espagne et **Portugal**. —Nous n'avons, pour l'ensemble de ces pays, qu'un seul renseignement, celui qui concerne la ville de Lisbonne. M. de Gasparin attribue à la tranche annuelle de pluie pour cette ville une hauteur de $0^m,608$. A en juger par ce document, les cotes océaniques de ces contrées seraient un peu moins humides que celles de France. Tout nous porte à croire qu'on obtiendrait un résultat identique pour les cotes méditerranéennes, parce que le fond du golfe de Gênes est, dans cette mer, un point où la pluie atteint un maximum très-prononcé, à droite et à gauche duquel les intensités de la pluie vont en diminuant.

En France, la moyenne des stations de Montpellier, Béziers et Perpignan, les plus voisines de l'Espagne, a pour valeur $0^m,592$. Or, comme depuis le cap de Creux jusqu'au détroit de Gibraltar la Méditerranée se resserre de plus en plus, les vents du sud doivent fournir relativement moins d'eau ; quant à ceux d'est et de sud-est, ils trouvent divers obstacles, comme l'extrémité de l'Italie, la Sicile, la pointe continentale formée par la régence de Tunis, la Sardaigne, qui doivent en atténuer les effets et en opérer en grande partie la dispersion ; enfin, en Espagne, les côtes de la Méditerranée sont mieux abritées en-

core contre les vents d'ouest que celles du bas Languedoc et du Roussillon. Ces diverses considérations nous portent à penser que le phénomène de la pluie doit avoir en général moins d'intensité en Espagne et en Portugal qu'en France, et que, par conséquent, la moyenne y est probablement moins considérable que chez nous. Nous proposons de la fixer à 0m,650.

Turquie et **Grèce**. — Les renseignements manquent complétement pour cette partie de l'Europe, et il faut y suppléer par des inductions. A la suite de nombreuses recherches, nous avons été conduit à admettre que sur l'ensemble de la Méditerranée la tranche d'eau pluviale annuelle a une valeur de 0m,807.

D'un autre côté, pour le sud de l'Autriche et de la Russie, cette valeur est de 0m,540. Si donc on remarque que la situation géographique de la Turquie et de la Grèce les place entre ces dernières contrées et la Méditerranée, on sera conduit à admettre que ce qu'il y a de plus naturel à faire dans cette circonstance est de prendre une moyenne entre ces deux nombres. Nous adopterons donc pour ces deux pays une hauteur de 0m,673.

Ces bases ainsi posées, il sera facile, en combinant les diverses mesures que nous venons de déterminer avec les superficies des régions auxquelles elles s'appliquent, de connaître la moyenne générale de la hauteur d'eau de pluie dans toute l'Europe.

Nous empruntons, à cet effet, à l'*Abrégé de géographie* de Balbi les étendues superficielles des divers Etats de l'Europe calculées en milles carrés,

de 60 au degré. Nous formons ainsi le tableau suivant :

DÉSIGNATION DES CONTRÉES.	SUPERFICIES PARTIELLES.	SUPERFICIES TOTALES.	HAUTEUR des TRANCHES.	MOMENTS.
France.	154,000	154,000	0^m,719	110,726
Angleterre........	90,950	90,950	0 ,821	74,670
Suède............	127,000			
Norwége..........	90,950	234,450	0 ,512	120,038
Danemark.........	16,500			
Hollande.........	8,326	18,026	0 ,682	12,294
Belgique.	9,700			
Prusse...........	80,450			
Confédération germanique.......	68,500	331,450	0 ,565	187,269
Autriche (moins la Lombardie). ...	182,500			
Russie...........	1,535,700	1,535,700	0 ,470	721,779
Suisse...........	11,200	11,200	1 ,049	11,749
Sardaigne, Lombardie et le reste de l'Italie......	87,381	87,381	1 ,069	93,410
Portugal.........	29,150	166,694	0 ,650	98,351
Espagne..........	137,544			
Empire Ottoman..	112,500			
Principautés Danubiennes.......	42,200	166,500	0 ,673	112,055
Grèce...........	11,800			
Totaux....		2,796,351		1,542,341

On déduit de là que la moyenne générale a pour valeur $\frac{1542341}{2796351}$, soit 0^m,552. Tel est le nombre qui, dans l'état actuel de nos connaissances, nous paraît réunir en sa faveur les plus grandes probabilités.

CHAPITRE II.

DE LA PERMÉABILITÉ DES TERRAINS ET DES ÉCOULEMENTS D'EAU ANNUELS OBSERVÉS À LA SURFACE DE QUELQUES BASSINS.

Importance du rôle que joue l'absorption à travers les terres dans les phénomènes consécutifs à la chute de la pluie.

Les observations que nous avons eu occasion de faire, pendant une longue suite d'années, nous ont conduit à cette conséquence que, contrairement aux idées généralement admises, ce n'est pas à l'évaporation, mais à l'absorption à travers les terres, qu'il faut attribuer la différence qui existe entre le prisme d'eau annuel fourni par la pluie sur le bassin d'une rivière et celui qui représenterait la quantité d'eau écoulée annuellement par l'artère principale de ce bassin.

Les détails que nous venons d'exposer dans le chapitre premier sur les quantités d'eau évaporées après la chute de la pluie et sur celles qui se déposent sans passer sous forme de pluie, la compensation à peu près complète que nous avons reconnu exister entre ces deux quantités sont de nature à dissiper tous les doutes à cet égard; mais ce principe de l'équilibre des eaux à la surface du globe ayant une grande importance, il est nécessaire d'entrer à ce sujet dans quelques nouveaux développements.

D'ailleurs, ce que nous allons ajouter ici aura une influence très-prononcée sur la solution du problème que nous nous proposons de résoudre et fixera les idées sur le plus ou moins d'extension qu'il faudra donner aux mesures à prendre contre les inondations, suivant la nature géologique des pays dans lesquels on sera appelé à opérer.

Il n'est guère possible d'admettre que les hommes qui ont appliqué leurs pensées à l'étude des phénomènes de la pluie aient pu méconnaître, sinon dans tous ses détails et dans toute sa puissance, du moins dans son principe, le rôle que joue l'absorption dans ces phénomènes.

Le fait naturel de l'imbibition des eaux à travers les terres est trop général, trop nécessaire, trop évident, pour qu'il ait pu passer inaperçu.

Lorsqu'après les sécheresses d'un été trop prolongé il nous arrive de désirer avec tant d'ardeur qu'une pluie réparatrice vienne rafraîchir les racines des plantes et renouveler l'approvisionnement de nos sources et de nos puits, ne reconnaissons-nous pas par cela même que la terre est perméable et qu'elle jouit de la propriété de conduire les eaux à des profondeurs quelquefois très-considérables.

Lorsque nous voyons sortir de la terre en toute saison des volumes de liquide aussi importants que ceux fournis par certaines sources, quelle que soit la cause à laquelle nous voudrons attribuer l'origine première de ces masses d'eau, qu'elles proviennent directement d'une perte éprouvée par une rivière dans les parties supérieures de son cours, ou qu'elles

soient le résultat de la réunion d'une innombrable quantité de filets fluides traversant les couches terrestres et se réunissant ensuite, par un jeu de la nature, dans un vaste récipient qui vient à jour, ne devons-nous pas conclure de ces faits que, dans certaines circonstances, l'écorce du globe se laisse facilement pénétrer par les eaux qui se déversent à sa surface.

Justification par quelques exemples.

M. l'ingénieur en chef Bouvier, dans un article récemment publié[1], entre, au sujet des sources qu'on observe sur les flancs du mont Ventoux, dans des détails que nous croyons devoir reproduire, parce qu'ils prépareront les esprits à une facile compréhension de tout ce que nous avons à exposer sur ce sujet :

« Le mont Ventoux, dit M. Bouvier, compris tout « entier dans le département de Vaucluse, est l'un des « plus élevés qui soient dans l'intérieur de la France ; « l'altitude de son sommet est de 1,960 mètres; sa « base affecte approximativement la forme d'une el- « lipse allongée, dont le grand axe, situé de l'est à « l'ouest, aurait 25,000 mètres de longueur et dont « le petit axe, situé du nord au sud, aurait 7,500 mè- « tres; la surface correspondante est d'environ 15,000 « hectares. Elle est entièrement formée d'un calcaire « néocomien, présentant de nombreuses fissures, et « tellement perméable que toutes les eaux de pluie « s'infiltrent dans l'intérieur et que les ravins qui « existent à sa surface sont constamment à sec, si ce

[1] *Annales des ponts et chaussées*, année 1855, 1er semestre, p. 261.

« n'est dans les cas très-rares de la chute de pluies « torrentielles. »

Dans la suite de ce chapitre, nous citerons plusieurs autres exemples de pareils terrains qu'on retrouve en assez grande abondance dans notre pays.

« Dans la partie élevée, continue M. Bouvier, on « ne voit surgir aucune source; mais, en approchant « de la base, on rencontre à 385 mètres au-dessus « du niveau de la mer, vers l'extrémité ouest du « grand axe de l'ellipse dont j'ai parlé, et tout près « de Malaucène, une source abondante dont le débit « est assez considérable pour mettre en jeu des mou-« lins, des papeteries et autres usines importantes... « Vers le sud, tout à fait au pied de la montagne, on « trouve des sources qui, quoique moins abondantes, « suffisent cependant à faire mouvoir, en éclusant, « les moulins de Bedoin et de Mourmoiron.

« On doit donc considérer la calotte perméable du « mont Ventoux comme un immense filtre à travers « lequel suintent les eaux de pluie qui tombent sur « sa surface et qui viennent alimenter les sources que « nous avons signalées. Ces sources sont séparées des « montagnes voisines par des vallées tellement pro-« fondes, qu'il n'est pas possible de leur attribuer « d'autre origine... Quant à l'évaporation à la surface, « elle doit être nécessairement très-réduite dans un « terrain aussi perméable, où l'eau est absorbée pres-« que instantanément. »

Ces premiers détails sont corroborés par ceux que M. Bouvier ajoute sur la fontaine de Vaucluse.

« Cette fontaine extraordinaire, dont le volume à

« l'étiage est évalué de 10 à 12 mètres cubes par se-
« conde[1], doit correspondre nécessairement à un « bassin d'une immense étendue. Or, en consultant la « carte géologique de MM. Dufrénoy et Élie de Beau-« mont, on voit que le même terrain néocomien qui « circonscrit le mont Ventoux se continue au sud et « à l'est de cette montagne et occupe un espace très-« considérable, qui s'étend de la fontaine de Vaucluse « à Sisteron, c'est-à-dire règne sur 70 kilomètres de « longueur, et dont la largeur varie entre 26 et 5 ki-« lomètres. C'est là, à mon avis, le bassin de la fon-« taine de Vaucluse, et j'ai été conduit à l'admettre « en reconnaissant qu'on ne trouve ni sources, ni « puits sur toute cette étendue ; que, comme pour le « mont Ventoux, les ravins sont constamment à sec, « si ce n'est dans des cas tout à fait exceptionnels ; « que les eaux de pluie, alors même qu'elles tombent « sur des cônes renversés, sont immédiatement ab-« sorbées, et que les quelques villages qui sont bâtis « sur cette espèce de désert ne sont alimentés que par « des eaux de citerne. »

L'auteur, appliquant ensuite à ces données topographiques les observations fournies par l'udomètre, démontre par les résultats de ses calculs toute la légitimité de cette manière de comprendre les phénomènes, et il ajoute :

« Cette explication, à la fois si simple et si natu-

[1] Pour donner une idée de ce qu'offre de considérable cette masse d'eau, il nous suffira de dire qu'elle est égale à celle que des rivières importantes du midi, le Tarn et le Lot, par exemple, débitent en étiage.

« relle, anéantit les hypothèses plus ou moins bizarres « qu'on a faites jusqu'à ce jour sur l'origine de la « fontaine de Vaucluse. Ainsi, les uns, sans songer « à l'immense éloignement qui les sépare, la font « venir des glaciers des Alpes, les autres l'attribuent « aux infiltrations de la Durance, sans remarquer « qu'elle débouche à 100 mètres au-dessus du niveau « de la mer; que la Durance, dans le point le plus « rapproché, tout en ayant sensiblement le même « niveau, en est encore distante de 28 kilomètres, « et que ses infiltrations devraient par suite se pro- « duire à une grande distance en amont; sans re- « marquer non plus que la déperdition d'un volume « d'eau aussi important pour une rivière qui n'ap- « porte au Rhône, à l'extrême étiage, que 30 mètres « cubes, serait assez sensible pour qu'on pût facile- « ment désigner le point où elle se produit. Ces hy- « pothèses n'expliquent pas d'ailleurs ce que devien- « nent les eaux pluviales qui tombent sur l'immense « surface dont nous avons parlé et qui alors ne mani- « festeraient nulle part leur existence. Mais notre ex- « plication démontre en même temps que cette belle « fontaine qui, employée soit à faire mouvoir des « usines, soit à des irrigations, enrichit une partie « du territoire, n'est pas un don gratuit de la nature « et qu'elle n'est obtenue qu'au détriment d'une sur- « face d'environ 100,000 hectares, comprise soit dans « le département de Vaucluse, soit dans celui des « Basses-Alpes, qui sont condamnés à une stérilité « presque complète. »

M. Bouvier cite encore à l'appui de son opinion

les fontaines de Nîmes et du bourg Saint-Andéol, qui sont placées au pied des montagnes calcaires de même nature; il parle enfin des suintements observés soit dans les tunnels, soit dans les grandes tranchées, qui ont continué à se produire après des sécheresses extraordinaires de trois à quatre mois, à la suite desquelles les cours d'eau voisins avaient été réduits à leur plus simple expression.

Nous pourrions à notre tour ajouter à cette nomenclature l'abondante fontaine des Chartreux, sur la rive gauche du Lot, en face de Cahors, celle de Salces, à l'entrée du département des Pyrénées-Orientales, qui forment un si frappant contraste avec la désolante sécheresse des plateaux supérieurs. Nous pourrions encore citer la source de Louysse, dans le département du Lot, qui à elle seule engendre une grande rivière. Mais le lecteur curieux d'approfondir ces détails en trouvera un exposé très-développé dans l'ouvrage de M. l'abbé Paramèle, sur l'*Art de découvrir les sources*[1]. Nous ne pouvons que l'inviter à parcourir cet ouvrage dans lequel il trouvera, à côté de l'expression intelligente de principes simples et vrais, la condamnation de nombreuses erreurs.

Une grande partie des eaux absorbées se rendent directement à la mer.

Les faits dont nous venons de présenter l'exposé ne sauraient laisser aucun doute sur la faculté absorbante de certains terrains; aussi pensons-nous que personne n'a sérieusement songé à nier la per-

[1] Page 305.

méabilité de quelques couches terrestres. Mais, si cette perméabilité a été admise en principe, nous sommes autorisé à croire que le véritable rôle qu'elle joue dans l'ensemble des écoulements qui ont lieu à la surface de notre planète a été méconnu jusqu'à ces derniers temps. Ce n'est qu'à la suite de quelques observations récentes qu'on paraît avoir compris la nécessité d'abandonner l'opinion erronée qu'il fallait attribuer aux effets de l'évaporation les différences constatées entre les volumes fournis par la pluie dans certaines contrées et ceux écoulés par les cours d'eau existants dans ces mêmes contrées. Ce n'est même qu'avec une certaine timidité, selon nous, tant était grande l'influence de l'opinion contraire, que s'est produite chez quelques uns la pensée qu'il se pourrait bien que ces différences dussent en réalité être attribuées à l'absorption, et c'est précisément parce que ce côté des interprétations de l'hydrostatique du globe n'a été abordé qu'avec une certaine hésitation que, pour notre part, nous croyons devoir insister avec toute la force de nos convictions sur le rôle très-remarquable, très-important, très-universel que joue l'absorption dans les phénomènes dont nous nous occupons ici.

Nous ne refusons pas, ont dit quelques personnes, de reconnaître que certaines natures de terrains jouissent de la propriété de recueillir dans leur sein des quantités considérables de liquide; mais ce que l'on sait d'un grand nombre de sources, de leur situation topographique, de leur abondance, prouve précisément que les eaux, primitivement emmagasi-

nées dans les entrailles de la terre, viennent à jour un peu plus tard et finissent par apporter leur tribut aux grandes rivières; celles-ci ne sont donc pas en réalité dépouillées des eaux qui doivent leur appartenir et il faut, par conséquent, attribuer le déficit à une autre cause que la perméabilité des terrains.

Cette manière de voir a pu inspirer quelque confiance et paraître suffisante à certains esprits, à une époque où les études géologiques, incomplétement développées et peu répandues parmi les observateurs, ne permettaient pas d'apprécier avec une grande certitude tout ce qu'il y a de vrai dans le phénomène de l'absorption. Mais il n'en est pas ainsi aujourd'hui; il n'est plus permis de douter que, pour quelques volumes d'eau qui, après leur infiltration dans les terres, sont conduits à jour par les sources visibles, il en est d'une importance bien supérieure qui marchent souterrainement jusqu'à la mer et qui sont complétement perdus pour l'écoulement de surface.

Qu'on veuille, en effet, jeter les yeux sur la carte géologique de la France et porter particulièrement son attention sur cette couronne générale de terrains oolithiques et crétacés qui s'étend en travers de tous les cours d'eau du bassin supérieur de la Seine, depuis Clamecy et Avallon jusqu'à Bar-le-Duc; qu'on veuille bien remarquer en outre que, de l'aveu de tout le monde, ces terrains sont classés dans la catégorie des plus absorbants; qu'en partant du faîte, et à mesure qu'on s'avance vers la mer, ils s'enfoncent de plus en plus sous des couches de formation plus ré-

cente pour ne plus reparaître; qu'on prenne en considération que les grès et sables verts de la formation crétacée descendent à plus de 500 mètres au-dessous du sol de Paris, et qu'on nous dise s'il est admissible que les eaux ainsi absorbées dans les régions supérieures et conduites à de si grandes profondeurs dans les parties basses de la vallée puissent naturellement remonter à la surface et ajouter leur tribut à celui de tous les affluents visibles.

Mais, ajoutera-t-on, est-il certain que dans ces zones absorbantes des terrains crétacés, dans celles de l'oolithe qui leur sont inférieures, il existe de l'eau? Est-il bien prouvé qu'il règne sous ces profondeurs de puissants réservoirs, d'intenses courants? Aujourd'hui le doute n'est plus permis; la sonde artésienne s'est chargée de répondre à ces questions et l'expérience a justifié toutes les prévisions scientifiques. Le forage du puits de Grenelle nous dit assez ce qu'il faut enfin penser de l'hydrologie des nappes souterraines, de leur point de départ, de leur marche à travers le sol, de la puissance de leur débit. La nouvelle tentative qui, en ce moment, est en voie d'exécution dans le bois de Boulogne et qui a été entreprise dans le but de placer la source d'une abondante rivière sur le faîte même de ce plateau boisé où la grande cité vient oublier, sous de frais et sinueux ombrages, la lourdeur de son atmosphère et la fatigante monotonie de ses rues; cette nouvelle tentative, disons-nous, dont la science a rédigé le programme, proclame assez haut ce que la science attend de ses résultats.

Il y a donc, il faut le reconnaître, une certaine portion de l'eau fournie par la pluie qui ne se rend aux fleuves ni directement en coulant à la surface des bassins, ni indirectement par la voie des sources apparentes. Cette eau, une fois entrée dans certains terrains, n'en sort plus que pour se décharger dans le sein de la mer et dans ses profondeurs; elle est complétement perdue pour les continents, à moins que l'industrie humaine, traversant par d'intelligents travaux les couches qui la retiennent prisonnière ne lui donne vers le sol une issue que la nature lui avait refusée.

Mais nous ne nous bornerons pas ici à l'expression théorique de ce principe, nous irons plus loin dans cette voie et nous essayerons de nous rendre compte des valeurs numériques qui, dans les divers bassins, expriment la quantité de liquide ainsi soustraite à l'écoulement superficiel. Ces études auront l'avantage de fixer nos idées sur les degrés variés de perméabilité que possèdent les couches terrestres, élément important à connaître dans la question qui nous occupe.

Bassins composés de couches très-absorbantes.

Pour le bassin de la Seine, M. l'ingénieur en chef Belgrand[1] évalue à 8 milliards de mètres cubes *au moins* la quantité d'eau de pluie soustraite par la perméabilité à l'écoulement superficiel, lequel est lui-même égal à 8 milliards. Mais, dans l'opinion de M. Belgrand, cette mesure de l'absorption

[1] *Annales des ponts et chaussées*, 1848, 2[e] semestre, p. 158.

n'est qu'un minimum; et tout ce qu'il dit à ce sujet, soit en ce qui concerne la végétation forestière, soit en ce qui se rapporte aux étendues occupées dans ce bassin par les terrains oolithiques et crayeux, est de nature à faire croire que, dans sa pensée, l'absorption doit très-sensiblement dépasser 8 milliards; nous sommes aussi de cet avis et nous en dirons bientôt les raisons.

Mais abordons de suite ce qui est relatif aux terrains qu'il faut placer à l'extrémité de l'échelle de perméabilité, et parlons de ceux qui sont le plus perméables, c'est-à-dire de l'oolithe.

« Si les terrains qui forment une vallée, dit M. Belgrand[1], appartiennent aux quatre étages inférieurs « des terrains oolithiques, ordinairement on ne remarque aucun ravin, aucun ruisseau dans la vallée, la culture s'étend jusqu'au fond; quelquefois « il s'y trouve un ruisseau, produit d'une source « abondante, mais qui décroît à mesure que son « cours s'allonge, et finit presque toujours par disparaître. Les observations faites dans les arrondissements de Chatillon, de Semur et d'Avallon ont « toutes prouvé l'exactitude de ces faits, même dans « les vallées de 100 à 200 kilomètres superficiels. »

Nous pouvons ici joindre notre témoignage à celui de M. Belgrand. Dans les pays que nous avons habités pendant une quinzaine d'années et que nous avons eu tant d'occasions de parcourir, la vaste étendue de terrains située dans les départements du Lot et de l'Aveyron, depuis la ligne qui, passant par Saint-

[1] Article déjà cité.

Céré, Figeac, la Madeleine et le cours de la Diége, marque sur le terrain l'origine de l'oolithe, jusqu'au méridien de Cahors et au-dessous, cette vaste étendue, disons-nous, qui ne comprend pas moins de 2,000 kilomètres carrés de terrain, est à peu près complétement dépourvue de cours d'eau. Dans cet espace, des vallées de 30 à 40 kilomètres de longueur sont non-seulement privées d'eaux courantes, mais elles n'offrent nulle part de traces de ruisseaux; tout ce qui tombe de pluie sur ces terrains disparaît dans le sous-sol.

Que doit-il résulter de cet état de choses? Que l'artère principal, le Lot, qui traverse cette région de l'est à l'ouest, ne reçoit à peu près aucun supplément de liquide dans son parcours de 85 kilomètres entre la station de la Madeleine et Cahors ; que les 12 mètres cubes que roule cette rivière en étiage, dans l'une et l'autre de ces localités, ne sont autre chose que ceux qui descendent des terrains primitifs supérieurs à la Madeleine; et que le peu d'eau que peuvent lui amener les suintements provoqués par les couches argileuses qui traversent l'oolithe entretient tout au plus le déficit résultant de l'évaporation qui a lieu à la surface de la rivière. En effet, les jaugeages du Lot effectués, soit à Cahors, soit à la Madeleine, pour un même état de la rivière en étiage, n'ont jamais donné de résultats sensiblement différents.

Concluons donc que, relativement aux quantités annuelles de pluie qu'ils reçoivent, certains étages de la formation oolithique sont complétement perméables. Pour ces étages, si l'on représente par l'unité le

volume de la pluie versée chaque année sur leur surface, l'unité représentera aussi ce que cette surface absorbe.

Bassins composés de couches imperméables.

Passons maintenant aux bassins les moins perméables, qui sont exclusivement formés par les terrains primitifs et liasiques. Parmi ceux que nous pouvons citer se trouvent l'Adda, affluent du Pô, et le Lot, depuis sa source jusqu'à la Madeleine.

Voici d'abord quelques détails sur l'état géologique du bassin du Pô.

A l'exception du Tanaro, qui traverse dans les parties supérieures de son cours le terrain jurassique proprement dit, les autres affluents du Pô, en allant du sud au nord jusqu'à la Sezia, et le Pô lui-même prennent leur source dans le terrain jurassique modifié, qui est assez peu perméable. Ce terrain forme, au faîte du bassin, une ceinture en arc de cercle d'une largeur assez uniforme d'environ 35 kilomètres en moyenne; à cette première ceinture, et en descendant la vallée, en succède une autre de terrains primitifs qui lui est concentrique, mais dont la largeur moyenne est beaucoup moindre, 15 kilomètres environ. Cette largeur se maintient jusqu'à la ville de Varallo sur la Sezia. A partir de ce point elle augmente considérablement, s'élève à 55 kilomètres, et tous les autres affluents du Pô, en allant de l'ouest à l'est, au nombre desquels se trouve l'Adda, prennent leur source dans ce terrain.

Cette dernière rivière en particulier a donc son

bassin supérieur exclusivement situé dans les terrains primitifs, et, lorsqu'après avoir abandonné ceux-ci, elle entre subitement dans la portion des vallées formées de dépôts récents, elle y est très-profondément encaissée de 20 à 30 mètres, circonstance qui lui permet de recevoir presque toutes les eaux d'égouttement de ces vallées. Il suit de là que le bassin de l'Adda se trouve placé dans des conditions telles que la majeure partie, sinon la totalité des eaux de pluie qu'il reçoit, doit couler à sa surface. La comparaison que nous avons établie, dans le chapitre précédent, entre le débit annuel de la pluie et celui de la rivière a pleinement confirmé cette conclusion.

Une pareille comparaison, faite pour les débits du Lot à la station de la Madeleine, nous a conduit à une conséquence analogue, et l'on ne perdra pas de vue que la presque totalité de ce bassin en amont de cette station est exclusivement composée de terrains primitifs et liasiques.

Enfin, nous avons vu qu'il en est de même pour la rivière de Cure aux Settons, et l'on remarquera encore que le bassin de cette rivière en amont des Settons est uniquement formé de terrains primitifs et plutoniques.

Nous ne reviendrons pas ici sur ces diverses évaluations numériques, que nous avons suffisamment développées dans le chapitre premier.

Bassins composés de couches moyennement perméables.

Après avoir ainsi examiné ce qui est relatif aux terrains qui occupent les deux extrémités de l'échelle

de perméabilité, revenons à ceux dont la faculté absorbante présente divers degrés de puissance entre ces deux limites.

Nous avons déjà fait suffisamment connaître ce qui, à ce point de vue, concerne le bassin de la Seine, et nous avons aussi donné quelques explications sur les espaces occupés par les terrains primitifs dans celui du Pô. Nous allons compléter la description géologique de ce dernier.

A part la ceinture de terrain jurassique modifié, dont il a été parlé ci-dessus, il existe très-peu de terrains jurassiques proprement dits dans ce bassin. La formation crétacée y est très-rare aussi. Les terrains tertiaires y occupent un espace plus considérable que les deux précédents; enfin, les parties inférieures, soit de la vallée principale, soit des vallées secondaires, sont recouvertes sur une immense étendue par le diluvium alpin.

Le terrain jurassique se présente sur le versant de droite, dans les parties supérieures du cours du Tanaro, et sur le versant de gauche, à la sortie des lacs Majeur, de Pusiano et de Côme, entre la Sezia et l'Adda. Le terrain crétacé inférieur n'existe pas, et le supérieur est représenté par deux ou trois petits échantillons qui se montrent dans les environs de Casal, d'Acqui et de Spigno. Les terrains tertiaires, comprenant parties à peu près égales de l'étage moyen et de l'étage supérieur, s'étendent dans la vallée du Tanaro, à la suite de la formation jurassique, et descendent jusqu'au cours du Pô dont ils occupent la rive droite depuis Turin jusqu'à Casal; tout le reste

de la vallée est recouvert, comme nous l'avons dit, par le diluvium alpin.

Il résulte de ces détails que les deux natures de terrains les plus perméables, les formations oolithiques et crétacées, qui abondent dans le bassin de la Seine, sont ici très-bornées, et ces faits expliquent parfaitement comment le bassin de la Seine ne laisse couler à Paris que les 2/7 de l'eau de pluie qu'il reçoit, tandis que celui du Pô donne passage aux 4/7 de celle qui tombe sur sa surface.

Nous devons d'ailleurs faire remarquer, au sujet du bassin du Pô, qu'il ne faudrait pas juger d'une manière trop absolue de la quantité de terrains à grande perméabilité qui occupent ce bassin, d'après celle seulement qui se présente à la vue. Car sur plusieurs points sans doute le diluvium alpin qui les recouvre a une faible épaisseur. Les filtrations qui, selon toute probabilité, ont lieu à travers ce diluvium peuvent donc atteindre des couches de plus en plus perméables, dans lesquelles les eaux se perdent sans retour.

Donnons maintenant un aperçu de la constitution géologique du bassin de la Garonne, depuis son origine jusqu'à la ville de Marmande, limite des nombreuses et intéressantes observations faites par les ingénieurs des ponts et chaussées et notamment par M. Baumgarten[1].

Occupons-nous d'abord du versant de gauche formé par la pente septentrionale de la chaîne des Pyrénées; les terrains primitifs et de transition occupent,

[1] *Annales des ponts et chaussées*, 1848, 2e sem., p. 1 et suiv.

comme on sait, les parties supérieures de cette chaîne. Entre les lignes secondaires de faîte, qui séparent le bassin de la Garonne de ceux de l'Aude et de l'Adour, règne un cordon général de terrains perméables composé en partie de la formation oolithique et en partie des formations crétacées supérieure et inférieure; la largeur moyenne de cette zone absorbante est de 25 à 30 kilomètres. Elle est donc à peine dans la Garonne la cinquième partie en largeur de la zone identique dans le bassin de la Seine; mais, d'un autre côté, elle a ici une importance qui n'existe pas à coup sûr dans celui du Pô; de sorte que, sous ce rapport, le bassin de la Garonne tient le milieu entre ceux du Pô et de la Seine. Le reste du versant dont nous nous occupons, c'est-à-dire sa plus grande partie, est composé à deux exceptions près de l'étage moyen du terrain tertiaire. Ces deux exceptions portent : la première, sur une série de chaînons longs et étroits disposés au pied des Pyrénées, entre les divers affluents de la Garonne, dans des directions qui leur sont à peu près parallèles et qui appartiennent à l'étage supérieur du terrain tertiaire; la seconde, sur quelques zones d'alluvions récentes qui, dans les parties inférieures des vallées, accompagnent le cours des rivières principales.

Sur le versant de droite règnent, sur de grandes étendues, dans les départements du Cantal, de l'Aveyron, de la Lozère et du Tarn, les terrains primitifs, auxquels il faut ajouter: 1° une zone de terrains de transition sur le flanc et dans la direction de la Montagne noire, faîte de partage entre la Méditerra-

née et l'Océan; 2° trois apparitions de terrains de trias, l'une à Espalion et dans les environs de Decazeville sur le bassin du Lot, la deuxième dans le bassin de l'Aveyron au-dessous de Villefranche, la troisième dans le bassin du Tarn à Saint-Affrique. Puis, le terrain jurassique se montre en assez grande abondance : d'une part, dans la vallée du Tarn, depuis la ville de Floirac jusqu'à la limite des départements du Tarn et de l'Aveyron; d'autre part, dans la vallée et le département du Lot, ainsi que nous avons eu déjà l'occasion de l'expliquer.

La formation crétacée n'existe sur ce versant que par son étage inférieur et en petite quantité, aux limites des départements du Lot et de Lot-et-Garonne. Enfin, le reste de cette partie du bassin, à l'exception des zones d'alluvions récentes qui longent les rivières principales dans la partie la plus basse de leurs cours, est exclusivement occupé par l'étage moyen des terrains tertiaires.

Des diverses indications que nous venons de donner et que nous invitons le lecteur à compléter et à constater par quelques mesures prises sur la carte géologique, il nous paraît incontestablement résulter qu'au point de vue de la perméabilité des trois bassins de la Seine, de la Garonne et du Pô, le premier est sans contredit le plus absorbant, que le dernier l'est le moins, qu'enfin celui de la Garonne tient le milieu entre les deux autres. Nous verrons bientôt que ces prévisions sont complétement confirmées par les indications numériques comparées entre elles, soit des quantités versées par la pluie sur

ces bassins, soit des volumes d'eau coulant annuellement à leur surface.

Résumé des faits précédents et conséquences principales qui en découlent.

Les considérations précédentes, prises dans leur ensemble, nous paraissent prouver sans réplique, d'une part, que les bassins presque uniquement formés de terrains primitifs ou liasiques laissent parvenir à leur artère principale la totalité de l'eau que la pluie leur envoie; d'autre part, que de vastes contrées, exclusivement formées de certains étages des terrains oolithiques, sont complétement dépouillées d'eaux courantes et que, même à la suite des plus grands orages, c'est à peine si, dans ces contrées, on observe sur le sol des traces suffisamment prolongées d'un canal d'écoulement, traces qui, d'ailleurs, n'offrent aucune permanence et sont promptement effacées. Entre ces deux limites extrêmes viennent se placer, quant au volume des eaux coulant à la surface, les autres bassins composés de couches géologiques, jouissant à divers degrés de la faculté absorbante.

De là trois ordres de faits distincts.

Le premier prouve, comme nous l'avons déjà indiqué au chapitre premier, que puisque la tranche totale d'eau de pluie qui est annuellement mesurée dans l'udomètre se rend, dans certaines circonstances jusqu'à la mer, sans déperdition sensible, il doit y avoir équilibre, d'une part, entre les quantités de

liquide qui, après la chute de la pluie, sont de nouveau restituées à l'atmosphère dans le courant de l'année, soit par la dessiccation des plantes, soit par l'évaporation naturelle à la surface des cours d'eau et du sol mouillé, et, d'autre part, entre celles non appréciées par l'instrument udométrique, que la rosée, les brouillards et la puissance aspiratrice de l'appareil foliacé soustraient à sa mesure.

Le second ordre de faits est de nature à faire comprendre qu'en assignant, comme nous l'avons fait, à la valeur de la quantité d'eau nécessaire à l'alimentation des plantes une assez faible fraction de la tranche de pluie annuellement tombée, nous ne nous sommes pas écarté des limites du probable. En effet, dans les terrains oolithiques dont nous venons de parler, où l'eau semble filtrer immédiatement après sa chute, comme à travers un crible, et où l'absence de tout cours d'eau apparent dénote un extrême degré de perméabilité, que peut-il rester de cette eau pour la vie des plantes? Une très-faible quantité, sans doute. Il est vrai de dire que, dans ces terrains, le développement de la vie végétale est assez borné, et que ce n'est que dans les années dont les étés sont pluvieux qu'on obtient de bonnes récoltes; toutefois, ils sont encore loin de se trouver, comme les terrains exclusivement sableux, à l'extrémité de l'échelle de la production, et, eu égard à l'importance de la végétation qui les couvre, même dans les circonstances ordinaires, on peut affirmer que les besoins de cette végétation exigent une faible dépense d'eau.

Nécessité de mettre sur le compte de l'absorption les soustractions de liquide généralement attribuées à l'évaporation.

Quant au troisième ordre de faits, il nous paraît confirmer sans réplique l'opinion émise au commencement de ce chapitre, que ce n'est pas à l'évaporation mais à l'absorption à travers les terres qu'on doit attribuer la différence qui existe entre le volume annuel débité par une rivière et celui fourni par la pluie sur son bassin.

En effet, outre qu'il n'est pas possible de se refuser à admettre que dans cette circonstance l'absorption doit jouer un certain rôle, comment expliquerait-on, si on voulait avoir uniquement recours à des faits d'évaporation, que pour les diverses parties d'un même bassin (le Lot en particulier est dans ce cas), tout s'évapore sur quelques-unes, celles qui sont de nature oolithique, et rien ne rentre dans l'atmosphère sur d'autres, celles qui sont de formation primitive ou liasique.

De telles bizarreries dans le phénomène de l'évaporation, de si brusques changements dans son intensité, alors qu'on considère ses effets sur des régions voisines, contiguës, sont inadmissibles. Les lois qui régissent l'évaporation ne procèdent pas par transitions violentes, quand on passe d'une contrée à l'autre; elles sont une conséquence des courants aériens, de l'humidité relative de l'air et des températures; sans doute ces divers éléments sont sujets, suivant les climats, à quelques variations; mais ces

variations, surtout lorsqu'on les étudie sur de vastes étendues, marchent graduellement, par voie de continuité, sans secousses, sans ces interruptions qui feraient subir tout d'un coup aux effets du phénomène le passage immédiat de la valeur zéro à la valeur maximum. Il n'en est pas de même de l'absorption qui, suivant la nature du terrain, peut être nulle ou entière, qui, dans les masses compactes, n'exerce aucun effet, dans celles qui sont fendillées peut tout soustraire. Ici les transitions brusques ne sont pas seulement possibles, elles existent, nous les voyons sans cesse sous nos yeux, et, à quelques mètres de distance, on passe subitement de l'un à l'autre de ces terrains.

Autant donc il serait difficile, impossible même de rendre un compte rationnel des diverses valeurs que peut subir la différence entre les quantités annuelles d'eau de pluie et celles écoulées par les fleuves, en voulant les attribuer à l'évaporation, autant tout devient facile, naturel, concordant, lorsqu'on fait intervenir dans la question l'influence de la perméabilité à travers les divers sols.

Mais si quelques doutes pouvaient subsister encore lorsqu'on se borne à considérer ce qui a lieu dans le cours de l'année entière, ils ne sauraient certainement subsister après une analyse détaillée des faits qui se produisent pendant les orages remarquables à la fois et par leur intensité extraordinaire, et par leur courte durée. Nous allons en citer un exemple qui est d'autant plus digne d'intérêt, qu'indépendamment de l'appui que nous y trouverons en faveur

des idées que nous émettons ici, il se rapporte à la fameuse inondation de la Loire en 1846, sur laquelle nous aurons souvent à revenir dans la suite de cet écrit, et qu'il se rattache ainsi très-directement au sujet que nous traitons.

En octobre 1846, une pluie très-générale et des plus intenses s'est abattue sur les parties supérieures des bassins de la Seine et de la Loire. Pendant deux jours, les 16 et 17 octobre, toute la partie montagneuse du faîte qui sépare en France le versant de la Méditerranée de celui de l'Océan, depuis Chaumont jusqu'à Villefort, dans le voisinage des sources de la Loire et de l'Allier, a été inondée par un véritable déluge.

Cette simultanéité de la pluie sur la vaste étendue que nous venons d'indiquer, cette intensité exceptionnelle ayant une grande importance pour l'objet que nous avons en vue, citons les autorités qui nous ont fourni les détails sur lesquels nous appelons l'attention du lecteur.

Et d'abord, pour ce qui concerne le bassin de la Seine, nous produisons l'extrait suivant d'une lettre adressée par M. l'ingénieur en chef Belgrand à la Société géologique de France et insérée dans les *Annales des ponts et chaussées*[1].

« La quantité d'eau, dit-il, tombée les 16 et 17 oc-
« tobre dernier dans le bassin supérieur de la Seine
« a été énorme.

« Voici les hauteurs d'eau pluviale constatées à

[1] Année 1846, 2me semestre, p. 181.

« l'hydromètre de Montsauche, à quelques kilomètres « en aval des sources.

Jeudi 15 octobre 1846.	0^m,0165
Vendredi 16.	0 ,0775
Samedi 17.	0 ,0880
Dimanche 18.	0 ,0115
Hauteur totale.	0^m,1935

On voit que sur ce bassin, dans les seules journées des 16 et 17, en quarante-huit heures, la tranche pluviale s'est élevée à 0^m,1655. Pour donner une idée de ce que cette masse d'eau présente de prodigieux, il nous suffira de dire que cette hauteur est précisément égale à celle qu'occuperait la totalité du volume qui passe sous les ponts de Paris pendant l'année entière, si on supposait ce volume uniformément répandu sur la surface du bassin située en amont de la capitale.

En second lieu, pour ce qui concerne le bassin de la Loire, nous extrayons le passage suivant d'un mémoire de M. l'ingénieur en chef Boulangé, inséré dans les *Annales des ponts et chaussées*[1].

« L'inondation de la Loire des 17 et 18 oc« tobre 1846 a été occasionnée par une suite d'o« rages qui ont commencé à Montbrison le 15 au « soir et qui, après avoir redoublé d'intensité dans « la nuit du 16 au 17, ont duré toute la journée « du 17 et n'ont cessé que le 18 vers six heures du « matin.

« La quantité d'eau tombée dans ce laps de temps

[1] Année 1848, 2me semestre, p. 325.

« a été de $0^{m},153$ d'épaisseur, d'après les observa-
« tions faites par M. le docteur Rey, de Montbrison,
« sur un pluviomètre de Lerebours. »

De la comparaison de ces faits, il résulte, ainsi que nous l'avons annoncé, que dans ces deux localités c'est au même instant, et pour ainsi dire heure pour heure, que la pluie a commencé et fini; il en résulte encore que les intensités de cette pluie ont été vraiment exceptionnelles, à peu près égales dans les deux contrées, avec une légère différence pour le bassin de la Seine, qui a reçu un peu plus que celui de la Loire.

Disons maintenant quels ont été les effets produits de part et d'autre.

« Tous les ruisseaux à versants granitiques ou
« liasiques, dit M. Belgrand, ont éprouvé une forte
« crue, mais ce qui m'a véritablement surpris, c'est
« que tous les versants oolithiques, même ceux des
« argiles d'Oxford, *n'ont exactement rien donné* (sauf
« sur les points où il existe des sources). »

Mais tandis que ces faits s'observaient dans la partie supérieure du bassin de la Seine, que se passait-il sur celui de la Loire? Or, il y a eu cette différence entre les effets signalés dans ces deux vallées, que dans la première, la crue à Paris, si toutefois il y a eu crue, a été, suivant l'expression de M. Belgrand, à peu près insignifiante, tandis que, dans le bassin de la Loire, l'inondation a produit des désastres tels, que, suivant le *Moniteur* du 3 juin 1847, les pertes appréciables qui en ont été le résultat se sont élevées à la somme de quarante millions.

Cela posé, si l'on remarque, d'une part, que presque tout le bassin supérieur de la Seine est formé, comme nous l'avons dit, de terrains essentiellement perméables, tandis que, d'autre part, les deux versants supérieurs de celui de la Loire, depuis la source de ce fleuve jusqu'au-dessous de Roanne, sont composés de terrains primitifs, ne sera-t-on pas convaincu de l'importance que le phénomène de l'absorption a dû jouer dans ces deux ordres de faits, produits tous les deux par les mêmes causes, dans le même instant, mais si différents, si complétement opposés au point de vue des effets obtenus?

Quant à nous, la coïncidence de ces deux observations nous paraît au plus haut degré digne d'être signalée, et il nous semble difficile de ne pas la considérer comme une justification complète des idées que nous cherchons à faire prévaloir. Qu'y a-t-il, en effet, de plus concluant, en faveur de notre système, que ce véritable cataclysme produit par les masses pluviales qui se sont déversées sur les terrains primitifs du bassin de la Loire, et cette absence presque complète d'écoulement sur les versants oolithiques de celui de la Seine, au même instant, nous le répétons, et sous l'influence de la même cause?

Et lorsqu'on voit, en quarante-huit heures, disparaître presque entièrement une tranche de pluie de $0^m,165$, représentant le tiers de celle qui tombe dans la contrée pendant l'année entière, lorsqu'en même temps une cause d'une puissance égale, plus faible même, donne lieu sur la Loire aux écoulements les plus prodigieux et les plus dévastateurs, est-on fondé,

je le demande, à venir dire que c'est l'évaporation qui a tout fait, ou qui a tout laissé faire? Qu'ici, redoublant d'efforts et d'énergie, elle a tout enlevé à la terre; que là, au contraire, frappée d'impuissance, elle lui a tout laissé? Qu'ici, l'intensité moyenne de l'évaporation, mesurée dans notre pays et à la surface des eaux par une tranche journalière de 0m,004 d'épaisseur, a subitement acquis une force d'action vingt fois plus considérable, tandis que là, cette action, irrévocablement anéantie, a laissé passer le déluge sans y toucher?

C'en est assez, croyons-nous, du simple énoncé de ces effets si directement opposés les uns aux autres, de ces modes d'action se démentant si complétement, qu'ils apportent avec eux leur propre condamnation; c'en est assez, disons-nous, pour détruire un préjugé qu'une étude superficielle des phénomènes de la pluie n'a pas eu la puissance de faire disparaître, mais qui ne saurait plus se maintenir devant l'examen approfondi de ces phénomènes, car il n'implique rien moins que le renversement de toutes les lois connues de la physique moderne.

Laissons jouer à l'évaporation son rôle tel que nous l'avons défini dans le chapitre premier de cet écrit, mais restituons à la perméabilité des terrains son importance trop généralement oubliée, et reconnaissons qu'elle seule peut rendre un compte rationnel des effets observés, soit au point de vue de leur intensité, soit au point de vue de leur apparente bizarrerie.

Concluons donc que depuis la valeur zéro, corres-

pondant aux formations primitives et liasiques, jusqu'à l'unité correspondant à certains étages de la formation oolithique, la mesure de l'absorption peut être représentée, en fonction de la tranche d'eau pluviale annuelle, par les diverses fractions comprises entre ces deux limites, et variables en raison de l'importance respective des surfaces occupées dans les divers bassins par ces deux natures de terrains, ou de leurs analogues.

Comparaisons entre les quantités d'eau fournies par les pluies et celles absorbées ou écoulées à la surface de quelques bassins.

Pour retirer des études que nous venons d'entreprendre sur la perméabilité des terrains tous les enseignements qu'elles sont susceptibles de produire, nous avons dû d'abord spécialiser nos recherches, les circonscrire dans des contrées exclusivement composées, soit de formations primitives, soit de formations oolithiques; nous avons appris ainsi tout ce qu'il y a d'imperméable dans les premières, tout ce qu'il y a d'absorbant dans les secondes. Puis, étendant nos investigations sur de plus grandes étendues, dans lesquelles les différentes natures de terrains se trouvent mélangées à divers degrés, nous avons conclu, des proportions respectives de ces mélanges, celles des facultés absorbantes de quelques-unes de nos grandes vallées.

Nous avons ainsi reconnu, en particulier, que des trois bassins de la Seine, de la Garonne et du Pô, le premier devait être le plus perméable, que le der-

nier l'était le moins, et que le second devait tenir le milieu entre les deux autres. Examinons maintenant jusqu'à quel point ces inductions sont conformes aux résultats des expériences entreprises par les ingénieurs sur les débits de ces rivières.

Si, dans le tableau qui figure à l'appendice de notre premier chapitre, on fait un extrait des diverses localités situées sur la partie du bassin de la Seine qui précède Paris, on trouve que la tranche pluviale annuelle de cette contrée a une hauteur moyenne de $0^m,612$.

Mais il a été constaté, à la suite des calculs entrepris par M. l'ingénieur en chef Dausse, et dont les résultats sont inscrits dans les *Annales des ponts et chaussées*[1], que le volume d'eau qui passe annuellement sous les ponts de Paris correspond à une tranche dont la hauteur serait de $0^m,177$. Il résulte de là que l'absorption aurait pour mesure une hauteur de $0^m,435$, c'est-à-dire les 72/100 de celle de la pluie.

En opérant pour le bassin de la Garonne, comme nous venons de le faire pour celui de le Seine, nous trouvons que la tranche annuelle d'eau de pluie reçue par la partie de ce bassin qui précède la ville de Marmande a une hauteur de $0^m,773$. Or, M. l'ingénieur en chef Baumgarten, dans le mémoire déjà cité, conclut de ses observations que le débit de ce fleuve à Marmande correspond à une tranche de $0^m,401$ de hauteur. La différence entre ces deux quantités assigne à l'absorption une valeur de $0^m,372$,

[1] Année 1842, 1er semestre, p. 201.

de sorte que la puissance de celle-ci est les 48/100 de celle de la pluie.

Enfin, pour le Pô, nous évaluons à $1^m,220$ la hauteur de la tranche pluviale annuelle moyenne. D'ailleurs, la quantité d'eau qui coule dans le fleuve à son embouchure est considérée par les ingénieurs italiens comme équivalente à une tranche de $0^m,781$ de hauteur ; il reste donc pour l'absorption $0^m,439$, nombre qui n'est que les 36/100 de la pluie.

Les mesures respectives de la perméabilité, comparativement à celles de la pluie, sont donc représentées comme suit dans ces trois vallées :

Pour la Seine.	$0^m,72$
Pour la Garonne.	0 ,48
Pour le Pô.	0 ,36

Et l'on voit que la marche décroissante de ces nombres est en complet accord avec nos précédentes inductions.

Les études que nous venons de faire sur les trois bassins de la Seine, de la Garonne et du Pô, indépendamment de la confirmation qu'elles ont donnée aux principes exposés ci-dessus, conduisent à des conséquences d'un autre ordre, qui nous paraissent trop remarquables pour que nous ne leur consacrions pas ici quelques développements.

A cet effet, mettons en regard des quantités annuelles de pluie qui tombent sur ces trois bassins, auxquels nous adjoignons ceux du Rhône et de la Saône, celles qui représentent l'écoulement de surface et les restes qu'on obtient après qu'on en a dé-

duit cet écoulement; nous formons ainsi le tableau suivant :

DÉSIGNATION DES BASSINS.	HAUTEUR DES TRANCHES REPRÉSENTANT		
	LA PLUIE annuelle.	L'ÉCOULEMENT par les fleuves.	L'ABSORPTION par les terres.
Seine.	0m,612	0m,177	0m,435
Garonne..........	0 ,773	0 ,401	0 ,372
Saône [1]...........	0 ,850	0 ,438	0 ,416
Rhône [2]...........	0 ,922	0 ,580	0 ,342
Pô..............	1 ,220	0 ,781	0 ,439

Il résulte de ces déterminations que tandis que les nombres de la première colonne diffèrent beaucoup les uns des autres, de manière à varier du simple au double; que tandis que ceux de la seconde présentent des écarts beaucoup plus grands encore; ceux de la troisième, au contraire, conservent une valeur assez sensiblement uniforme : la plus grande différence des uns aux autres n'atteignant pas tout à fait 0m,10.

D'un autre côté, rappelons ici que nous avons établi, dans le chapitre premier, que la quantité de liquide qui rentre annuellement dans l'atmosphère par voie d'évaporation a pour mesure, dans nos zones tempérées, une tranche de 0m,175, et remarquons à ce sujet qu'il ressort avec évidence des détails sur lesquels nous avons appuyé ce fait, que les va-

[1] *Annales des ponts et chaussées*, année 1852, 1er semestre, page 37.

[2] *Dictionnaire des arts et manufactures*, article AGRICULTURE.

riations que pourrait subir cette mesure en passant d'une vallée à l'autre ne sauraient avoir qu'une assez faible importance.

Ainsi, soit qu'on s'occupe des eaux qui s'évaporent à la surface des continents, soit qu'on porte son attention sur celles que l'absorption fait disparaître, on est conduit à constater que leurs volumes respectifs ne subissent que de fort légères variations, quand on passe d'un pays à un autre.

Loi remarquable d'équilibre naturel déduite des déterminations précédentes.

Cette sorte de constance des quantités absolues d'eau que la terre reçoit ou conserve dans son sein, ou restitue à l'atmosphère par évaporation, comparativement aux grands écarts qui affectent celles de la pluie, nous révèle une loi d'équilibre naturel digne de toute notre attention.

La première condition pour l'humanité, c'est de vivre. Or, l'organisme de l'homme, s'il se prête à d'assez nombreuses diversités dans les détails, n'admet pas de grandes divergences dans ses principes constitutifs, qui sont à peu près immuables. De là la nécessité que les conditions de la vie animale de l'homme soient presque constamment identiques. Or, pour que l'homme, qui est partout à peu près le même, vive aussi partout à peu près de la même manière, il faut que le développement des végétaux s'accomplisse uniformément en tous lieux, il faut que l'air renferme incessamment une certaine quan-

tité d'humidité comprise entre deux limites fixes et assez rapprochées l'une de l'autre.

Le phénomène de la pluie est destiné à satisfaire à ces grandes nécessités naturelles.

Mais si on se bornait à apprécier l'importance des effets de ce phénomène par les résultats annuels des mesures udométriques, on serait conduit à cette conclusion, que les conditions de la vie animale sont soumises à d'énormes variations, puisque, sans sortir de nos climats tempérés, la quantité annuelle de pluie varie du simple au double et même au triple, suivant les localités.

C'est ici qu'intervient cette belle et grande loi d'équilibre, en vertu de laquelle ces variations considérables de la masse des eaux que l'atmosphère nous envoie s'effacent par l'effet de l'écoulement de surface, dans lequel elles se résument à peu près en entier, et disparaissent avec lui ; de telle sorte que la différence entre l'eau tombée et celle écoulée par les fleuves, cette différence qui, en humectant les plantes, la terre et l'atmosphère, est, sur le globe, le principe de toute vie ; cette différence, disons-nous, reste à peu près constante, et produit en tous lieux une même provision de ressources en regard d'une même somme de besoins.

Sortons de nos zones tempérées, et allons interroger les climats situés aux deux extrémités de l'échelle des latitudes ; que trouvons-nous sur les déserts brûlants des régions équatoriales et dans les froides plaines du Nord ? Là des sables arides, que l'eau traverse immédiatement après sa chute ; ici un épais

manteau de glace séparant à tout jamais la terre de l'atmosphère; là, jamais de liquide coulant à la surface; ici, toujours de l'eau, rien que de l'eau.

Il y a donc dans l'un et l'autre cas rupture de ce remarquable équilibre qui règne dans les zones tempérées, et sous l'influence duquel se développe une végétation doublement riche par sa puissance et par sa variété.

Aussi, les conditions ordinaires de l'organisation humaine, dans ces latitudes extrêmes, ne sont-elles plus semblables à celles que nous observons dans nos climats moyens. A la place de la race blanche, dont l'activité progressive est sans cesse guidée par le flambeau de l'intelligence, nous trouvons, d'un côté, le nègre n'obéissant qu'à ses féroces instincts; de l'autre l'Esquimau, plus intelligent peut-être, mais tout à fait incapable d'application, et enchaîné, comme les glaces qui l'entourent, dans les liens d'une fatale inertie.

Et même dans nos climats, que, dans certaines localités par exception, cet équilibre soit rompu; que la terre absorbe trop, ou n'absorbe pas assez, et le sol, transformé en landes ou en marais, devient impropre au développement normal de la vie.

Mais ces exceptions, tant s'en faut, ne sauraient devenir l'objet d'un grief contre la Providence; car ce que nous devons développer d'efforts pour les faire disparaître n'est pas au-dessus de nos facultés. Dieu, avant tout, devait à l'humanité les choses nécessaires à la vie, et il les lui a données dans leur généralité. Quant aux exceptions apparentes à cette grande

loi providentielle; quant à ce désir incessant de bien-être qui nous fait aspirer à vivre de mieux en mieux, qu'y pouvons-nous voir autre chose que la nécessité du travail, cette grande mission de l'homme sur la terre, qui constitue notre supériorité sur les êtres créés, et au bout de laquelle, en récompense de nos efforts, nous trouvons la satisfaction de nos désirs et les jouissances du progrès?

Nous pouvons donc dire avec vérité que dans les parties habitées du globe, et abstraction faite des exceptions de détail, partout où l'homme vit et se meut dans les conditions normales de son organisation, la proportion des eaux coulant à la surface sera d'autant plus petite, ou d'autant plus grande, que la quantité de pluie sera plus faible ou plus abondante; car le maintien des lois naturelles exige que la terre ne reçoive dans son sein ni plus ni moins que ce dont elle a besoin pour entretenir la vie à sa surface; et si cette condition n'existait plus, toutes les autres seraient détruites.

Or, quand on remarque que cette relation, si essentielle entre l'importance de la pluie annuelle et celle de l'écoulement de surface, est intimement liée à une heureuse dispersion des terrains perméables et imperméables, c'est-à-dire des formations géologiques; quand on réfléchit que cette dispersion a été, depuis l'origine des temps et pendant une immensité de siècles, l'œuvre constante de la main de Dieu, l'esprit ne reste-t-il pas frappé d'étonnement en présence de ce merveilleux enchaînement, qui coordonne entre eux les espaces, les temps et la

matière, pour les faire concourir au plus parfait développement du but final de la création, la vie humaine?

Mais, dira-t-on, si un ordre admirable se fait remarquer dans la distribution de cette partie de la pluie que retient la terre, ou qui rentre dans l'atmosphère, pourquoi tant d'irrégularité dans celle qu'elle ne garde pas? Ne nous hâtons pas, en cette matière, de céder trop facilement aux premières inspirations de quelques trompeuses apparences; s'il nous arrive parfois de considérer nos fleuves comme trop riches, si l'abondance de leurs eaux fait naître dans quelques esprits l'idée du superflu, c'est que nous n'avons pas encore assez fait pour les utiliser. Sur plusieurs de nos rivières, les travaux d'irrigation sont à peine commencés, et cependant l'exemple de ce qui se passe dans quelques localités où ces travaux ont reçu plus de développement prouve que cet excès n'est pas aussi grand qu'on serait porté à le croire. Nous pouvons, à ce sujet, citer la Durance, à laquelle des canaux de dérivation enlèvent plus de la moitié des eaux d'étiage, et, dans les Pyrénées orientales, la Tet, sur laquelle les irrigations de la plaine du Roussillon ont fait tant de prises, qu'à Perpignan, dans l'été, le lit de la rivière est presque toujours à sec. D'ailleurs, ne fallait-il pas que des forces motrices fussent répandues çà et là sur la surface du globe pour les besoins de l'industrie? Ne fallait-il pas que nos grands fleuves vinssent déboucher à la mer avec un abondant tribut, afin que les bienfaits de la navigation, franchissant

la limite des côtes maritimes, pussent remonter jusqu'au centre des continents?

Un jour viendra, sans doute, où cet excès, en partie stérile, des eaux fluviales, conduit par les irrigations sur le sol de nos grandes vallées, non-seulement se sera transformé en une abondante richesse agricole, mais aura diminué cette masse d'efforts que nous entrevoyons aujourd'hui pour assurer le maintien de la navigation en basses eaux, car il y a plus de relations qu'on ne serait d'abord tenté de l'admettre entre la prospérité agricole et celle des lignes navigables.

Après nous être occupé, comme nous venons de le faire, des débits annuels des fleuves, le moment est venu d'étudier leurs écoulements, non plus dans leur ensemble, mais dans leurs détails, non plus en ce qui concerne la moyenne quantité de liquide à laquelle ils donnent passage, mais dans les circonstances exceptionnelles où, franchissant les bornes de leur lit, les eaux se répandent sur nos terres cultivées, envahissent nos maisons et menacent nos vies. Le tableau de ces violents désordres, de cette perturbation momentanée des lois naturelles qui régissent l'équilibre de l'élement liquide, mérite une place à part; cette partie de nos recherches intéresse trop l'humanité pour que nous ne l'enfermions pas dans un cadre spécial; elle fera l'objet de notre troisième chapitre.

CHAPITRE III.

DES CRUES, DE LEURS INCONVÉNIENTS ET DE LEURS AVANTAGES.

Quelques observations sur les désordres apparents et les équilibres réels de la création.

A l'aide des principes exposés dans les chapitres précédents, nous pourrions maintenant entrer dans les détails concernant plus spécialement les écoulements d'eau, qui sont la conséquence des pluies exceptionnelles, ces écoulements qui inspirent tant de terreur, parce qu'ils deviennent des inondations; nous pourrions les suivre dans leur marche, nous rendre compte de leur intensité progressive, étudier leurs rapports, soit avec la pluie qui les produit, soit avec l'étendue des bassins qui les rassemblent, soit avec la perméabilité des terrains sur lesquels ils passent; nous pourrions enfin, à la suite de ces premières investigations, procéder à celles qui auraient pour objet de déterminer la nature des ouvrages à exécuter pour nous défendre contre cet envahissement des terres par les eaux. Mais tout est-il également à combattre dans les crues? Tous leurs effets sont-ils d'une nature telle qu'il importe à l'homme

de les détruire? Les crues, dans leur ensemble, comme dans leurs détails, ont-elles le triste privilége de n'être qu'un fléau? Et Dieu a-t-il oublié de placer le bienfait à côté de quelques inconvénients?

Si l'on réfléchit que les périodes de crise qui, dans les temps passés, se sont abattues sur notre globe, que les effrayantes révolutions qui ont bouleversé sa surface ont eu pour effet définitif l'établissement de l'équilibre dont nous jouissons aujourd'hui, que, par conséquent, un grand bien, un bien immense, a été le résultat de phénomènes qui, envisagés en eux-mêmes, ne présentent que l'image de la destruction, peut-être sera-t-on conduit à penser que les crues de nos jours peuvent aussi avoir leur utilité, et que, s'il en était ainsi, essayer de les combattre dans toutes leurs conséquences, ce serait travailler contre nous-mêmes, ce serait anéantir les avantages que, dans les desseins de la Providence, elles doivent nous procurer.

Et ce n'est pas seulement parce que, dans la succession des temps anciens, nous pouvons reconnaître que ce n'est guère qu'à la suite de désastres apparents qu'un ordre admirable et un sage équilibre ont fini par s'établir sur la terre, que nous sommes conduit à nous adresser toutes ces questions, c'est parce que, de nos jours et sans sortir du phénomène spécial qui nous occupe, les événements contemporains produisent des résultats analogues, que la réflexion, prenant enfin la place d'un funeste préjugé, vient jeter un doute salutaire dans nos esprits. Que deviendrait la vallée du Nil, je le demande, sans ses

inondations ? Qu'eût été l'ancienne Égypte sans les débordements du fleuve sacré ? Cette terre fertile et jadis si florissante n'eût été qu'un désert de plus ajouté à tous ceux qui l'entourent.

Ce ne sera donc pas une chose inutile, pensons-nous, avant d'aller plus loin, que d'arrêter un instant notre pensée sur la nature et les conséquences des écoulements torrentiels des fleuves, de chercher à découvrir si, dans cette circonstance, de grands avantages ne viennent pas compenser quelques inconvénients. Peut-être reconnaîtrons-nous, comme nous venons de le faire pressentir, qu'ils ont leur rang marqué dans l'ordre des nécessités providentielles ; que c'est parce que nous n'avons pas assez réfléchi sur ces matières, que nous n'avons jusqu'à ce jour exécuté que d'imprudents travaux ; que si nous parvenions, enfin, à bien connaître le véritable rôle que jouent les crues dans l'action générale des phénomènes naturels, notre intervention future, différente de celle du passé, en conservant ce qui est bon, en combattant seulement ce qui est mauvais, aurait trouvé la source d'un immense bienfait dans ces mêmes causes qui nous paraissent aujourd'hui ne pouvoir engendrer que des désastres.

Certes, en présentant quelques observations sur un pareil sujet, nous n'afficherons pas la prétention d'avoir épuisé la matière ; il faut beaucoup de science pour pénétrer tous les desseins de la création, et, à cet égard, nous sentons que d'étroites limites nous resserrent. Mais notre contingent de remarques, quelque faible qu'il soit, aura peut-être

son grain d'utilité; ne se bornerait-il qu'à éveiller l'attention sur l'importance de ces études, qu'il serait l'indice d'un heureux retour vers la saine interprétation des phénomènes naturels, et nous avons l'espoir que cette semence, tombée sur la terre fertile de l'intelligence humaine, ne tarderait pas à nous verser les trésors d'une abondante moisson.

Puissance fertilisante des limons des crues.

Si nous avons quelquefois tenu compte des désastres qui, dans des circonstances exceptionnelles, et de loin en loin, ont été produits par les inondations, nous sommes trop oublieux peut-être de faire entrer dans la balance les compensations annuelles et très-fréquemment répétées dont ce déversement des eaux nous a apporté et nous apporte encore les bénéfices par ses riches dépôts. Nous ne nous rappelons pas assez que, sans crue, le colmatage naturel ou artificiel n'existerait pas.

Aux époques de crise géologique qui ont coïncidé avec le surgissement des montagnes, les terres des vallées antérieurement ouvertes furent déplacées et transportées à des niveaux élevés, tandis que d'intenses courants, envahissant les vallées nouvelles, y amenèrent les débris des roches brisées pendant la tourmente. Ces grands mouvements du sol étaient nécessaires, afin que la dispersion de la terre cultivable fût répartie sur de grandes étendues. Mais sans les crues qui, après chaque crise, ont persisté dans nos fleuves, les vallées récemment formées, privées du précieux bienfait des dépôts limoneux, auraient

conservé la stérilité d'un champ de pierres, et l'homme se serait retiré d'elles, comme il se retire du désert. Obligé d'établir au loin ses demeures, il n'aurait pu, par le fait même de cet éloignement, utiliser qu'avec peine les anciens débris jetés à profusion dans ces vallées, et en retirer les avantages qu'ils lui offrent aujourd'hui pour ses industries diverses, pour ses maisons et pour ses routes.

Les vastes plaines de la Crau, dans le département des Bouches-du-Rhône, sont un exemple frappant de ce que nous disons ici[1]. Une seule tourmente des eaux a traversé ce terrain; aussi n'y voit-on que des cailloux. Le bienfait de crues postérieures au premier écoulement torrentiel ayant fait défaut, un immense espace de vingt-cinq lieues carrées est voué à une désolante stérilité.

L'homme a cependant compris qu'il avait ici quelque chose à faire, et, depuis plus de deux siècles, il supplée avec succès, par un travail artificiel, à l'insuffisance des forces naturelles. Les eaux troubles de la Durance, amenées par des canaux sur ces dépôts de pierres, les recouvrent à chaque crue d'un bienfaisant limon; déjà de vastes espaces autour de la ville de Salon ont été rendus à la culture. Le progrès se continue d'année en année, et un jour viendra où les efforts intelligents de la volonté humaine auront caché sous de riches moissons l'œuvre incomplète de la nature.

Ces faits constituent malheureusement une trop

[1] Voir notre notice insérée dans les *Annales des ponts et chaussées*, année 1855, 2me semestre, p. 5.

rare exception, car si, dans ce travail d'amélioration des vallées, les actions naturelles ont déjà beaucoup fait et sont prêtes à faire encore davantage, nous ne pouvons en dire autant de l'intervention de l'homme. Cette intervention est à peine sensible, et un vaste champ de conquêtes reste encore ouvert à notre initiative et à nos efforts.

L'œuvre de la création se poursuit en effet tous les jours. Esquissée à grands traits à l'origine par la main de Dieu, et garantie dans ses bases essentielles par cette promesse d'alliance perpétuelle faite à l'homme, c'est-à-dire par l'établissement définitif d'un équilibre désormais conservateur dans ses effets, parce qu'il a été déclaré immuable dans son principe, elle se continue incessamment dans ses innombrables détails avec le concours de l'humanité, sous la direction de la suprême sagesse. Et n'est-il pas évident que s'il n'y avait rien à faire dans les détails, n'est-il pas évident que si l'homme, qui a été créé intelligent, n'était pas appelé à mettre la main à l'œuvre, le don même de cette intelligence n'eût été qu'une stérile superfétation?

« Que serait-il arrivé, se demande M. Belgrand, dans « ses belles études sur l'hydrologie du bassin de la « Seine, si, très-anciennement, les crues troubles de « l'Yonne, de l'Armançon, de la Marne, avaient été « maintenues entre deux digues insubmersibles? « Très-probablement les riches plaines de Seignelay, « de Saint-Florentin, de Vitry-le-Français, seraient « couvertes de tourbières, de marais ou de graviers « stériles, comme les fonds des vallées de la Seine et

« de l'Aube, et en général de toutes les vallées per-« méables où il ne passe point de crues troubles[1]. »

Parcourons un instant les diverses régions agricoles de la France, et voyons comment la fertilité du sol est distribuée à leur surface. Et d'abord, sur le massif montagneux du centre, comme sur les faîtes des Alpes et des Pyrénées, qui nous servent de limites, on chercherait vainement une grande puissance de production végétale. C'est dans les parties basses, dans les plaines qu'il faut descendre; c'est dans les contrées où l'épanchement des eaux a pu se produire avec un calme relatif qu'il faut porter ses regards, pour voir se développer la richesse agricole dans toute son abondance et dans toute sa variété. Remarquons en outre que c'est précisément au pied des escarpements les plus élevés que se trouvent les contrées les plus fertiles; tandis qu'au-dessous des terrains primitifs de la Bretagne, dont l'altitude est médiocre, le sol ne donne à l'homme que de faibles produits. Quelle puissance de végétation ne remarquons-nous pas dans la vallée de l'Alsace, qu'entourent les faîtes du Jura, des ballons des Vosges, de la Forêt noire; dans la Limagne, dominée par les cimes du Cantal, du Mont-Dor, du Puy-de-Dôme; dans la vallée de la Loire et dans la Beauce qui, comme la Limagne, reçurent jadis les épanchements du massif central; dans le Grésivaudan, situé au pied des Alpes; dans cette fertile vallée de la Garonne, dont les plans inclinés des Pyrénées concoururent, avec ceux des ver-

[1] *Annales des ponts et chaussées*, année 1852, 1er semestre, p. 66.

sants du haut Quercy, du Rouergue, de la Montagne Noire, à recouvrir ce vaste et magnifique bassin des débris pulvérisés de leurs roches primitives!

Et si, entrant plus avant dans les détails, nous recherchons dans chaque région en particulier, riche ou pauvre, quelles sont les parties les plus fertiles entre toutes, c'est toujours dans les vallées que nous les trouverons, sur les surfaces planes ou peu inclinées qui, par la succession des dépôts limoneux, cachent à nos yeux la concavité primitive du sol.

Ainsi, nous le répétons, sans les crues qui, après les dernières convulsions de la nature en travail, sont venues répandre dans nos vallées leurs limons fertilisants, la surface de la terre, couverte de débris pierreux, n'aurait pu s'ouvrir au tranchant de la charrue; la plante nourricière de l'humanité n'aurait pu germer et livrer à la faucille ses riches épis.

Or, ce n'est pas seulement dans les temps anciens que ces phénomènes se sont produits. Ce qui s'est fait alors se continue de nos jours. Que de prairies qui ne doivent leurs abondantes récoltes qu'à des inondations périodiques! Que de terrains qui, sans les crues, ne deviendraient productifs qu'à force d'engrais et de labeurs!

Qu'on ne s'imagine pas qu'en parlant ainsi des bons effets produits, même de nos jours, par les eaux des crues, nous nous sommes laissé entraîner par le désir de défendre une cause, vraie sans doute dans son principe, mais moins féconde peut-être que nous sommes disposé à le croire dans ses conséquences. Non, telle n'est pas l'influence à laquelle nous avons

cédé ; les observations qui vont suivre, les opinions des hommes capables sur lesquelles nous allons nous appuyer, convaincront le lecteur qu'il n'y a rien d'exagéré dans notre discours.

Si les statistiques enregistraient les bienfaits des crues aussi exactement qu'elles tiennent compte des désastres qu'elles produisent, les idées à coup sûr prendraient sur ce point une autre direction, surtout lorsqu'on s'apercevrait enfin que ces désastres doivent être encore plus attribués à des travaux inintelligents, entrepris et exécutés sans réflexion, qu'au phénomène même de l'inondation, si on le laissait abandonné aux seules actions des forces naturelles.

Mais lorsqu'après le débordement d'un fleuve dans une vallée une commission d'expertise se rend sur les lieux pour étudier les effets produits, de quoi s'occupe-t-elle ? de constater, autant que possible, tous les dégâts, presque jamais de mettre en regard les heureuses compensations. Les intéressés, qui attendent des indemnités, ne manquent pas de signaler à ces visiteurs tout ce que le passage des eaux a bouleversé ou détruit, mais il se gardent bien de donner à entendre, et il se pourrait d'ailleurs qu'ils ne le crussent pas eux-mêmes, que si beaucoup de terres ont perdu, il y en a aussi beaucoup qui ont gagné. Ajoutons que si le grand nombre est de bonne foi, quelques-uns, et ce sont toujours les plus habiles, poussés par une déloyale avidité, essayent de faire prendre le change sur la nature des effets produits.

Citons à ce sujet le passage suivant d'une note communiquée par M. l'ingénieur en chef Dausse à

l'Académie des sciences, dans la séance du 30 juin 1856 :

« Lors de l'avant-dernière inondation de la plaine « d'Avignon, les propriétaires, éperdus, jetèrent les « hauts cris et obtinrent de l'État d'abondants se- « cours ; ce qui n'empêcha pas que, les années sui- « vantes, *le limon laissé par le Rhône leur donnât,* « *sans nul engrais, de merveilleuses récoltes.* Je tiens « ce fait, ajoute M. Dausse, de M. l'inspecteur général « Mallet. »

Nous trouvons dans la crue de la Loire de 1846 un fait remarquable, qui peut servir de confirmation à celui que nous venons de citer.

Ainsi que nous avons eu occasion de le dire, en octobre 1846 une forte crue de la Loire a ravagé le pays situé au-dessous de Roanne, et, bien que les désastres aient eu moins d'étendue que ceux de la dernière inondation, l'évaluation des pertes appréciables, selon une remarque que nous avons déjà faite, n'en a pas moins atteint le chiffre malheureusement trop élevé de 40 millions.

Or, tandis que le fleuve portait ainsi la désolation au-dessous de Roanne, où les digues longitudinales précédemment construites furent violemment rompues, que se passait-il en amont de cette ville, dans les plaines du Forez ? Là, point de digues longitudinales ; les eaux purent donc s'épandre en liberté sur les plaines ; d'ailleurs, ces eaux, retenues à leur extrémité aval par le barrage transversal de Pinay qui, sauf une ouverture de 20 mètres, ferme la vallée, naturellement resserrée en ce point entre deux ro-

chers, ces eaux, disons-nous, s'accumulèrent sans grande vitesse dans cet immense espace de 3,000 hectares, jusqu'à la ville de Feurs, où cessait le remous produit par la retenue de Pinay.

Quelles ont été pour ces terrains les conséquences de cette inondation? Les voici telles que les fait connaître M. l'ingénieur en chef Boulangé, dans un mémoire inséré dans les *Annales des ponts et chaussées*[1].

« L'accumulation des eaux sur ce point y a abattu « un très-grand nombre de maisons, mais en même « temps elle a déposé sur les terrains inondés une « couche de limon assez épaisse pour que, tout bien « compensé, il soit parfaitement constaté aujourd'hui « qu'entre Feurs et la digue de Pinay *l'inondation a « fait plus de bien que de mal.* »

Or, si tel a été le résultat obtenu, malgré la destruction d'un très-grand nombre de maisons, que serait-ce si, par de sages mesures administratives, la faculté de bâtir dans les parties inondables des vallées était soumise à une réglementation tutélaire! Dans ce cas, on n'aurait pas compté un seul désastre, et on n'aurait connu la crue que par des bienfaits.

« Je pourrais, dit M. Dausse, dans la note à la« quelle nous avons déjà fait un emprunt, je pour« rais citer une vallée dans laquelle nos pères se « contentaient de fixer les berges, et puis, à une plus « ou moins grande distance de part et d'autre, d'é« lever des bourrelets de terre au-dessus des crues

[1] Année 1848, 2e semestre, p. 332.

« ordinaires. Entre les bourrelets et les rives on « plaçait les cultures qui craignent le moins une « immersion passagère; derrière les bourrelets, les « cultures plus délicates. Les grandes crues, qui sont « les plus chargées de limons, couvraient tout. Sans « doute qu'elles avariaient les récoltes, mais comme « elles laissaient un engrais qui dispensait, les an- « nées suivantes, de fumer la terre inondée, les dom- « mages causés aux récoltes, une année sur dix ou « sur vingt, se trouvaient plus que compensés.

« Anciennement, les lits délaissés qu'on trouve « dans toutes les vallées se comblaient peu à peu et « finissaient par devenir cultivables; tandis qu'avec « les digues insubmersibles, ils demeurent d'éternels « marais, en même temps que les terres froides et « basses sont dans l'impossibilité de s'élever jamais. « Je pourrais citer au besoin une presqu'île que les « crues ont colmatée d'elles-mêmes et exhaussée de « près d'un mètre en cinquante ans, et qui, au lieu « de joncs et vernais qu'elle donnait précédemment, « produit aujourd'hui des blés et des chanvres ma- « gnifiques, à peine atteints par les crues. »

M. l'ingénieur en chef Manès, dans le rapport qu'il a lu à l'Académie de Bordeaux à l'occasion du concours sur les inondations, cite un fait qui vient prêter un nouvel appui à l'opinion que nous émettons sur l'utilité des dépôts limoneux :

« Les effets qu'aurait la suppression des crues, « dit-il, sont prouvés, d'après ce que nous a assuré « notre collègue M. Petit-Laffitte, par ce qui a été « observé dans le bassin de la Garonne. Ce fleuve, à

« une certaine époque, étant resté longtemps sans « sortir de son lit, on constata alors que la riche « plaine de Meilhan avait perdu notablement de sa « fertilité, et même que la belle race garonnaise, « dont cette plaine est le principal berceau, s'était « affaiblie. »

« Les terrains les plus fertiles de nos vallées, dit « M. Hervé-Mangon en parlant des couches d'alluvion, « appartiennent à cette formation qui constitue une « portion de l'Égypte et des bassins du Rhin, de la « Garonne, etc. On ne saurait assez se préoccuper de « favoriser le dépôt de ces alluvions précieuses dont « des travaux d'endiguement mal dirigés facilitent « trop souvent l'entraînement à la mer. »

Qu'on nous permette une dernière citation; ce ne sera pas la moins significative de toutes celles qui peuvent être invoquées à l'appui de la thèse que nous soutenons.

« Dans la partie inférieure de la vallée du Rhône, « dit encore M. Dausse, l'espace compris entre la « berge du fleuve et la haute levée qui couvre de « vastes terrains a un nom particulier, celui de *se-« goneaux*. Eh bien! ces segoneaux sont aujourd'hui, « rien que par l'effet du colmatage naturel, beau-« coup plus élevés que la plaine close, ils donnent « de beaucoup plus riches récoltes; le fonds se vend « moitié plus et même deux fois plus que les fonds « préservés. Ce fait, avec beaucoup d'autres non « moins concluants, a été cité à l'Académie par l'un « de ses membres les plus éminents, M. de Gasparin,

« dans un remarquable travail dont cette note n'est « qu'un faible écho[1]. »

Des faits analogues s'observent sur le Pô. Dans cette contrée, les espaces compris entre le fleuve et les maîtresses digues s'appellent *golènes*. « Or, dit « M. Baumgarten, on trouve que les terres livrées aux « inondations (les golènes) sont à $1^m,20$ au-dessus « de celles qui en sont garanties. » Ainsi, en Lombardie, comme sur les bords du Rhône, ce sont les terres inondées qui s'exhaussent et s'enrichissent. Quant aux autres, elles restent stationnaires, soit au point de vue de leur niveau, soit à celui de leur fertilité ; elles sont de plus exposées aux ravages qui, trop fréquemment, sont les conséquences des ruptures des digues. Tels sont les effets les plus certains de la protection qu'on cherche à leur donner à si grands frais.

Si les détails dans lesquels nous venons d'entrer ne sont pas suffisants pour détruire dans quelques esprits l'influence d'anciens préjugés, nous aimons à croire qu'ils auront plus d'effet sur ceux qui parcourront ces lignes avec le seul désir de chercher la vérité, sans parti pris d'avance en faveur de tel ou tel autre système. Nous espérons que dans les observations et les faits que nous venons d'exposer on trouvera le germe de quelques utiles enseignements.

Des divers degrés de fertilité des alluvions.

Présentons maintenant quelques observations sur la puissance fertilisante des dépôts fluviatiles.

[1] Comptes rendus, séance du 22 janvier 1844.

Lorsque ces dépôts sont uniquement formés de cailloux, leur fertilité est presque nulle. La vaste plaine de la Crau, dans les Bouches-du-Rhône, dont nous avons déjà eu occasion d'entretenir le lecteur, nous en offre, dans notre pays, un exemple remarquable. A peine voit-on surgir entre les pierres quelques brins d'herbes très-courts, pour lesquels, il est vrai, le bétail montre beaucoup d'avidité, mais dont la quantité est à peu près insignifiante. Nous avons eu occasion de voir, il y a une vingtaine d'années, dans la partie de cette plaine la plus rapprochée de la mer, quelques plantations d'amandiers qui semblaient devoir prospérer; mais ce résultat n'avait été obtenu qu'en creusant dans la masse caillouteuse d'assez grands trous qu'on remplissait ensuite de bonne terre.

L'opinion qui considérait les dépôts exclusivement formés de sable siliceux comme stériles tend à se modifier de plus en plus; il est reconnu aujourd'hui que, sous certaines conditions, et surtout avec de l'eau, ils peuvent produire d'excellentes récoltes.

« Les dépôts purement sableux, dit M. Hervé-Mangon[1], longtemps délaissés comme improductifs, « commencent à préoccuper sérieusement l'attention, depuis que les travaux de Brémontier ont « prouvé la possibilité de les fixer et de les planter « en pins, et que d'autres essais ont établi que l'on « pouvait, avec de l'eau, en tirer un excellent parti. « En Belgique et en Hollande, on voit des terrains de

[1] *Dictionnaire des arts et manufactures*, article AGRICULTURE.

« sables, ensemencés en spergule, fournir d'abon-
« dantes récoltes de ce fourrage et se transformer
« peu à peu, sous l'influence d'une culture éclairée,
« en sols d'une qualité remarquable. »

A l'appui de ce qui vient d'être dit sur l'influence de l'eau pour activer la végétation des terrains siliceux, rapportons les faits intéressants cités par M. Baudrimont [1].

« Le sable siliceux, dit-il, n'est point par lui-même
« un obstacle à la végétation.

« Le sol des landes est formé de sable siliceux,
« mobile, où il ne vient spontanément qu'un très-
« petit nombre d'espèces végétales, telles que diverses
« bruyères, l'ajonc, le *rumex acetosella*, etc. Plusieurs
« conifères peuvent y réussir, entre autres le *pinus*
« *maritima*.

« Des expériences faites sur une échelle considé-
« rable dans les environs de Bordeaux, notamment
« par M. Fieffé et par M. Lemotheux, ont démontré
« que toutes les cultures, même la culture maraî-
« chère, pouvaient réussir dans ce sol lorsqu'il était
« possible de l'arroser à volonté.

« M. Lemotheux, en profitant de sources qui lui
« fournissent toute la quantité d'eau désirable, a dis-
« posé une irrigation qui lui a permis de fonder de
« véritables jardins potagers dans un sol qui passait
« pour stérile et n'avait qu'une très-faible valeur. »

Complétons ce tableau par la description emprun-

[1] Mémoire sur les courants intersticiels du sol arable, p. 40.

tée à M. Pinondel de la Bertoche des résultats obtenus dans la Campine belge[1] :

« Le sol de la Campine, dit cet ingénieur, est en « général un sable profond, souvent dénué de toute « végétation. La zone où le premier essai d'irrigation « fut tenté pouvait être considérée comme l'une des « plus stériles de la contrée; une partie même con- « sistait en dunes mobiles souvent balayées par les « vents.

« Ce fut sur cette zone, d'une étendue de 140 hec- « tares, que l'on exécuta, au printemps et dans le « commencement de l'été de 1847, les travaux inté- « rieurs d'irrigation. Ces travaux, à la charge des « acquéreurs, mais qui, dans une pensée d'utilité « publique, furent dirigés par les ingénieurs du gou- « vernement, consistaient dans l'ouverture des rigoles « secondaires d'alimentation et d'écoulement, dans « la confection des billons ou marchites, dans l'en- « semencement et l'application des engrais, enfin « dans la distribution des eaux destinées à créer le « gazon de la prairie.

« Ils furent l'objet d'expériences multipliées, soit « pour la forme et la dimension des marchites, soit « pour les engrais à employer, soit pour le mode « d'appliquer les eaux dans les diverses saisons, soit « enfin pour les dépenses nécessitées par les diffé- « rents procédés. Nous présenterons ailleurs la rela- « tion de ces expériences comparatives, qui appar- « tiennent plus spécialement à la partie agricole des

[1] Bulletin des séances de la Société nationale et centrale d'agriculture, mars 1848.

« irrigations; nous nous bornerons ici à constater « *le résultat évident, actuel, merveilleux, qui avait* « *été la transformation, en quelques mois, de surfaces* « *dénuées de toute végétation, de dunes mobiles en* « *prairies admirablement fournies de l'herbe de la* « *plus belle végétation et de la meilleure qualité.* »

Ces observations ont une importance que le lecteur comprendra sans peine. Nous avons souvent entendu dire que si, dans quelques cas, la puissance fertilisante des dépôts fluviatiles était incontestable, il s'en fallait qu'il en fût toujours ainsi; que ces dépôts étaient très-souvent sableux, et par conséquent improductifs; que ce n'était donc qu'avec beaucoup de réserve qu'il fallait entreprendre des travaux ayant pour objet d'en provoquer la conservation sur le sol.

Nous répondrons d'abord qu'il serait inexact de prétendre que les dépôts d'une nature purement siliceuse constituent une majorité pour nos fleuves; ils ne sont au contraire qu'une rare exception. Nous rappellerons à ce sujet que les landes, qui sont à coup sûr les plus vastes amas de cette nature que nous ayons en France, ne doivent pas être considérées comme formées par des dépôts fluviatiles, mais comme devant surtout leur origine aux éjections marines. Nous ferons observer en second lieu que comme ces dépôts sont, par eux-mêmes du moins, les moins fertiles d'entre tous, il convient en effet de les éliminer autant que possible. Si donc on prend des dispositions telles que les sables, et surtout les plus gros, soient exclusivement concentrés dans la

partie torrentielle des écoulements, de manière à descendre avec elle jusqu'à la mer; si en même temps les matières les plus ténues et les plus productives restent seules en suspension dans les nappes liquides qui forment le débordement proprement dit, on aura fait disparaître cette nature d'inconvénients, tout en profitant des autres avantages. Or, nous pensons que tels seront en effet les résultats produits par notre système de travaux, et nous mettrons bientôt le lecteur en état de se convaincre de la vérité de cette assertion.

Ajoutons enfin que, dans les cas très-exceptionnels où les dépôts actuels sont de nature sableuse, non-seulement les ouvrages que nous proposons d'exécuter auront pour première amélioration de diminuer le volume des particules sableuses déposées et d'introduire à l'avenir dans leur masse l'incorporation de quelques limons fertiles, mais qu'en outre ces ouvrages, consistant en partie dans la création de vastes réserves d'eaux qui, pendant la saison sèche, seront utilisées pour un système très-étendu d'irrigations, donneront les moyens de distribuer l'élément liquide, pour ainsi dire à discrétion, sur les dépôts siliceux, ce qui permettra, selon les remarques précédentes, de réaliser sur ces alluvions les avantages agricoles obtenus en Belgique, en Hollande et dans les landes du Bordelais. Au reste, la question, aujourd'hui résolue par M. Ville, de l'absorption directe de l'azote de l'air par les plantes, ajoute une précieuse sanction à la vérité pratique de ces faits, et réduit à néant les objections qu'il y a trois ans à peine on au-

rait pu être en droit de leur opposer au nom même de la science.

Il suit donc de là, qu'à l'exception des dépôts caillouteux, qu'on ne rencontre que dans une zone très-restreinte des pays montagneux et qui, de nos jours, ainsi que nous l'expliquerons dans le sixième chapitre, ne se forment plus nulle part dans les plaines basses de nos grandes vallées, tous les autres sans exception peuvent être utilisés; qu'il y a donc intérêt à les conserver tous, et que ceux-là même dont la nature est purement siliceuse peuvent être avantageusement mis à profit à la condition que le système d'ouvrages entrepris soit disposé de telle manière que ces dépôts reçoivent, pendant les sécheresses, une partie des eaux que les fleuves, en temps de crue, laissent aujourd'hui descendre sans utilité jusqu'à leur embouchure.

En insistant, comme nous venons de le faire, sur l'utilité des dépôts, même sableux, nous avons rendu évidente la nécessité de chercher à provoquer la précipitation de tous les troubles quels qu'ils soient, sauf néanmoins à réaliser l'amélioration qui consiste à élaguer celles de ces substances dont les volumes élémentaires sont trop gros, et à ne retenir que les molécules qui descendent à un certain degré de ténuité. Ces observations sont très-propres à donner une idée de la généralité d'application de notre système, et elles nous dispensent d'entrer dans de longs détails sur la nature, différente suivant les bassins, des matières que les eaux pluviales entraînent avec elles, et sur le degré plus ou moins grand de fertili-

sation des limons, selon la composition des roches dont ils proviennent.

Ces diverses questions, outre qu'elles sont encore loin d'être complétement élucidées par la science, se rattachent plus encore à l'agriculture qu'à l'hydraulique ; elles intéressent plutôt le cultivateur, qui doit s'appliquer à tirer le meilleur parti des dépôts, que l'ingénieur appelé à en provoquer la formation. L'essentiel était de constater l'utilité des alluvions qui sont considérées comme les moins productives, et de faire voir que, même pour l'exploitation de celles-là, les ouvrages que nous proposons sont susceptibles de venir puissamment en aide à l'agriculture.

Rappelons d'ailleurs que les dépôts les plus riches et les plus productifs sont en même temps les plus remarquables par leur fréquence et par l'abondance de leur volume. Nous pouvons citer à ce sujet les eaux de la Durance, du Lot, du Tarn, de la Garonne, du Rhin, de la Meuse, du Rhône inférieur, et surtout celles de l'Ardèche, de la Drôme, de l'Hérault. Nous reviendrons, à la suite de cet article, sur cet ordre de considérations.

Quant à la distribution qui se fait des matières terreuses entraînées par les eaux entre les différentes parties du cours des vallées, elle dépend essentiellement de la force de transport des fleuves en leurs divers points, sujet dont nous nous occuperons en détail dans le sixième chapitre.

L'état actuel de la science ne nous permet donc guère de traiter avec beaucoup de précision la question de la fertilité respective des alluvions, et nous

avons expliqué que, dans notre opinion, c'est un sujet dont l'exposition détaillée doit plutôt trouver sa place dans un traité d'agriculture que dans le présent écrit. Bornons-nous à dire, à un point de vue général, que les dépôts limoneux sont essentiellement composés de matières siliceuses et argileuses mélangées en proportions très-diverses : ainsi, le rapport de ces deux substances, qui n'est que de 1/12 dans le limon du Nil, prend la valeur 2/3 dans celui du Rhône, près Orange, et s'élève à 6,5 dans celui du Volga; les sels de chaux qui, dans ce dernier, font presque complétement défaut, sont représentés par 18 pour 100 dans le limon du Nil, et par 44 pour 100 dans celui du Rhône; quelquefois l'oxyde de fer entre dans la proportion de 6 pour 100, d'autres fois il n'est pas représenté; il en est de même des sels magnésiens. Le seul principe dont la présence soit constante dans les bons limons, et qui, quoique en quantité assez minime, semble devoir être la mesure la plus caractéristique de leur importance agricole, c'est le terreau, dont la proportion varie de 4 à 9 pour 100.

Or, puisque, malgré ces grandes variations dans la quotité de leurs éléments primitifs, les dépôts limoneux dont nous venons de parler sont tous fertiles à un haut degré, ne faut-il pas en conclure que la nature s'est réservé à cet égard une grande latitude, et qu'elle a voulu conserver aux divers mélanges de terre, quelque excessives que fussent leurs dissemblances, une énergique fécondité. Car si la vertu des limons du Nil est proverbiale, si nous sommes bien fixés dans notre pays sur celle des limons du Rhône.

nous devons avoir une opinion non moins favorable des alluvions du Volga, fleuve que dans le moyen âge les populations ouraliennes et tatares appelaient *Itel*, ce qui signifie *libéral*, c'est-à-dire engendrant l'abondance.

Peut-être aussi serait-il sage, dans cet ordre de spéculations, de faire entrer en considération la diversité des climats. Telle combinaison de silice et d'alumine peut en effet très-bien convenir à certains degrés d'humidité et de température modérées, qui ne donnerait que de médiocres résultats dans les pays très-secs et très-chauds. Il nous semble, en effet, rationnel d'admettre qu'une grande quantité de matières siliceuses en Égypte, sous l'influence d'un soleil brûlant, hâterait considérablement la dessiccation des terres et des plantes, et serait un obstacle à peu près insurmontable au maintien de la vie végétale jusqu'à l'époque de la maturité. De sorte que dans ce pays la remarquable fertilité des eaux du Nil devrait être attribuée, en grande partie du moins, à la très-faible quantité de silice que leurs troubles contiennent, de même que la proportion considérable de cette matière, répandue par les eaux du Volga sur des terres plus froides et naturellement plus argileuses, assurerait à la production végétale une grande prospérité.

Ce qu'il y a de certain, c'est que, tandis que la proportion de cette substance constatée dans les limons augmente avec la latitude de manière à être de 4 pour 100 seulement dans le Nil, de 20 dans le bas Rhône, de 72 dans le Volga, celle d'argile diminue au con-

traire à mesure qu'on remonte vers les climats plus froids, et est représentée dans ces divers fleuves par les nombres respectifs 48, 33, 11. Nous devons nous borner à ces simples aperçus, et remettre la solution définitive de ces questions à une époque où des études plus nombreuses permettront de mieux apprécier l'influence respective des diverses natures de terres et de leurs mélanges sur la végétation, soit dans un même lieu, soit dans des lieux différents.

Observations sur les progrès annuels du colmatage.

Pour se faire une idée de la marche progressive du colmatage, il faut d'abord chercher à connaître la quantité de matières terreuses contenues dans les eaux des fleuves en temps de crues. Nous allons rendre compte de ce que l'on sait à cet égard.

« Les eaux du Rhône, en 1844, dit M. Hervé-Mangon[1], d'après les observations de la Commission « hydrométrique de Lyon, ont renfermé au maximum « 0k,493 de dépôt par mètre cube ; au minimum, « 0k,007 ; en moyenne, 0k,139.

« L'eau de la Saône contient au plus 0k,100 de dépôt par mètre cube ; au moins 0k,008, et en moyenne « 0k,040.

« La plus grande quantité de matières tenues en « suspension dans les eaux de la Meuse, en décembre « 1849, a été de 0k,474 ; la plus petite quantité, 0k,014 ; « et la moyenne, 0k,100. »

[1] *Dictionnaire des arts et manufactures*, article AGRICULTURE.

M. l'ingénieur en chef Marchal[1] a trouvé que la Seine, à Rouen', après des pluies continuelles qui avaient grossi et fait déborder les affluents, ne contenait que 0k,045 de matières terreuses par mètre cube; il évalue la moyenne, pour toute l'année, à la fraction 0,000023 par unité de volume.

Pour ce qui concerne la Garonne, nous rapportons les observations de M. Baumgarten[2]:

« Pour me rendre compte, dit-il, de la quantité de « matières tenues ainsi en suspension, je faisais re- « cueillir tous les jours à la surface de l'eau, près de « Marmande, une quantité bien exactement mesurée « de 4,6 litres, qu'on laissait déposer tranquillement « pendant huit ou dix jours, puis on décantait et on « mettait le résidu sur un filtre que l'on pesait en- « suite quand il était bien sec; on avait ainsi le poids « en grammes contenu dans un mètre cube d'eau.

« Cette quantité n'a jamais dépassé le chiffre « 4k,087 qui est celui obtenu le 8 août 1844; les seuls « autres jours, pendant huit ans, où elle a dépassé 2 « kilogrammes, sont le 13 octobre 1839, qui a donné « 3k,124, et le 19 septembre 1843, qui a donné « 2k,375. »

M. Baumgarten conclut, pour ce qui concerne la moyenne, à un poids de 0k,235.

La Garonne se distingue donc, à cet égard, des autres cours d'eau précédemment désignés. Ce fleuve est un de ceux dont les dépôts sont le plus abondants. La Durance peut lui être comparée. En gran-

[1] *Annales des ponts et chaussées*, année 1854, 1er semestre.

[2] *Annales des ponts et chaussées*, année 1848, 2me semestre,

des crues, dit M. Hervé-Mangon, l'eau de cette rivière tient en suspension $4^k,179$ de matières solides par mètre cube. Nous nous sommes convaincu que le Lot est dans le même cas. Le Rhône, dans sa partie inférieure, doit être rangé dans la même catégorie.

Mais il y a des cours d'eau qui contiennent une plus grande quantité encore de terres limoneuses; nous avons vérifié que, dans certaines crues, le Tarn en renferme jusqu'à 7 kilogrammes par mètre cube. L'Ardèche, la Drôme, l'Hérault, d'après ce que l'on sait de leur puissance de colmatage qui, en quelques localités, est mesurée par une couche annuelle de $0^m,16$ de hauteur, doivent atteindre tout au moins la même proportion.

Concluons de là qu'aux époques de fortes crues, quelques rivières comme le Tarn, l'Ardèche, la Drôme, l'Hérault, contiennent 7, 8 et peut-être 10 kilogrammes de matières terreuses par mètre cube;

Que la Garonne, la Durance, le Lot, le Rhône inférieur en renferment à peu près 4;

Qu'on n'en compte que de $0^k,4$ à $0^k,5$ dans la Meuse, et dans le Rhône à Lyon;

Que sur la Saône la proportion descend à $0^k,100$;

Qu'enfin la Seine n'en contient que $0^k,045$, et que très-probablement l'Oise, l'Escaut, la Somme n'en possèdent pas davantage.

La connaissance de ces chiffres, combinée avec celle des localités où ces divers cours d'eau et leurs affluents prennent leur source, nous paraît propre à fixer les idées sur l'importance relative des dépôts limoneux dans les diverses rivières de France.

Faisons maintenant connaître par un exemple le procédé à l'aide duquel on peut parvenir à se rendre compte de l'épaisseur annuelle moyenne des dépôts formés par les débordements d'un fleuve.

Appliquons nos calculs à la Garonne, si bien étudiée par M. Baumgarten, et pour laquelle il nous a laissé de très-exacts et très-précieux renseignements.

Cet ingénieur a constaté d'abord, à la suite d'expériences qui embrassent une durée de quinze années, que le nombre annuel moyen de jours pendant lesquels les eaux débordent est égal à neuf. Il nous apprend, en second lieu, que les débordements commencent, entre le confluent du Lot et la limite du département de Lot-et-Garonne avec celui de la Gironde, lorsque les niveaux arrivent à la cote 5^m,40, et que la moyenne annuelle des plus grandes hauteur du fleuve, déduite des mêmes quinze années d'observations, est de 8^m,02.

Cela posé, les quantités de vase tenues en suspension, pour l'état des eaux correspondant à ces deux niveaux, étant à très-peu de chose près de 1 kilogramme dans le premier cas, et de 3 kilogrammes dans le second, nous prendrons une moyenne de 2 kilogrammes pour toute la durée du passage de l'une à l'autre de ces hauteurs; d'ailleurs, la différence entre ces niveaux étant de 2^m,62, il s'ensuit que chacun des mètres superficiels qui se trouvent situés dans le champ de l'inondation sera recouvert d'une tranche d'eau de 1^m,31 de hauteur en moyenne, tranche qui contiendra 2^k,62 de vase. Or, la densité de cette vase étant égale, d'après M. Baumgarten, à 1,47, ce poids

correspond à un volume de $0^{mc},0018$; et parce que la base de ce volume est le mètre carré, la hauteur de la tranche déposée sera de $1^{mm},8$.

Nous aurions maintenant besoin de connaître un élément sur lequel il est à regretter qu'il n'ait pas été fait d'observations, c'est le temps nécessaire pour que les eaux débordées de la Garonne, avec la vitesse qui leur est propre, déposent la totalité de la vase qu'elles contiennent. Si ce temps est plus court que la durée de l'inondation, toute la vase ne se précipitera pas; s'il est au contraire plus long, le renouvellement plus répété des eaux permettra au dépôt d'acquérir une plus grande hauteur que celle mentionnée ci-dessus.

Nous sommes donc obligé d'introduire ici des chiffres hypothétiques, qui plus tard seront remplacés par les valeurs réelles fournies par des observations directes. Admettons, par exemple, que le temps dont il s'agit soit de trois jours: on en conclura que les neuf jours annuels de débordement donneront très-probablement le triple de $1^{mm},8$, c'est-à-dire $5^{mm},4$, de sorte que le relèvement séculaire du sol, eu égard à l'époque et aux données actuelles, aurait pour mesure une valeur de $0^{m},54$.

D'ailleurs, ce relèvement ne sera pas uniforme sur toute l'étendue de la zone d'inondation; son intensité ira en diminuant depuis les rives du fleuve jusqu'à l'extrémité du périmètre mouillé, par le triple motif que c'est sur les rives que les eaux débordent plus souvent, qu'elles s'élèvent le plus au-dessus du sol, et que leur tendance à la précipitation agit avec le plus d'énergie. Il suit de là que la pente transver-

sale des vallées, qui se dirige naturellement du pied des coteaux vers les fleuves, tendra de plus en plus à disparaître et à être remplacée par une surface horizontale. Il pourra même arriver, par suite de la fortuité des circonstances, et ce fait se remarque très-souvent le long des cours d'eau, que l'uniformité de l'inclinaison naturelle ou de l'horizontalité dont nous parlons se trouvera rompue et que les dépôts, plus fréquents et plus nombreux sur les rives, élèveront le terrain de manière à lui donner sur une certaine étendue une pente inverse de la précédente. Cet effet est surtout singulièrement favorisé par le changement brusque de vitesse qui a lieu sur les rives entre les eaux torrentielles qui coulent dans le lit et celles relativement plus calmes qui constituent le débordement. Cet amortissement détermine avec une grande efficacité la précipitation des parties vaseuses les plus volumineuses, et il s'ensuit que la proportion des dépôts qui restent dans les eaux déversées sur les plaines est toujours moindre que celle qui a été mesurée dans le lit même du fleuve.

Il n'est pas inutile de remarquer, à ce sujet, que c'est surtout à la circonstance que nous venons de décrire qu'il faut attribuer le fait en vertu duquel la direction des petits affluents, dans les plaines inondables, se maintient sur de longues étendues parallèle au courant principal. Ces faibles courants sont en effet naturellement obligés de suivre la ligne de jonction des deux pentes inverses dont nous venons de parler, soit jusqu'à leur réunion avec le fleuve lui-même, soit jusqu'à la rencontre d'affluents d'un

ordre supérieur. Quant à la déviation de ceux-ci, dans le sens du même parallélisme, elle est beaucoup moins prononcée parce que, d'une part, la plus forte inclinaison de leur thalweg, de l'autre, le plus grand volume de leurs eaux leur ont permis de surmonter plus facilement des obstacles, contre lesquels l'action plus faible des premiers est venue s'amortir.

Il est sans doute inutile de faire observer que l'exhaussement séculaire du sol que nous venons d'essayer de déterminer doit aller sans cesse en diminuant avec le temps, parce qu'à mesure que cet exhaussement s'effectuera, le nombre annuel des jours de débordement sera nécessairement moindre.

Nous devons placer ici une remarque au sujet de certains colmatages dont la rapide progression n'est nullement en rapport avec les quantités de vases contenues dans les eaux des fleuves sur les rives desquels ils se forment. Nous avons dit que dans les plus fortes crues, la Seine ne contient que 0k,045 de matières terreuses par mètre cube; ce n'est guère que la 90me partie de ce que donne la Garonne. Cependant, depuis l'époque encore très-récente où les travaux d'endiguement de la partie inférieure de ce fleuve ont commencé, la marche des alluvions a considérablement progressé, et il a été constaté qu'à la fin d'août 1850 les terrains ainsi colmatés avaient une étendue de 1,400 hectares. Ce fait s'explique facilement, en remarquant avec M. Marchal que ce n'est pas à l'influence du fleuve, mais à celle des marées, qu'il faut principalement attribuer les effets

obtenus. La cause qui détermine les dépôts agit donc ici incessamment, elle se reproduit tous les jours ; d'ailleurs la mer contient au moins trois fois plus de troubles que la Seine, et, dans ces conditions, son action, bien que relativement très-faible chaque fois qu'elle s'exerce, produit définitivement dans l'année des effets qui, comparés à ceux de la Garonne, sont dans le rapport de 60 à l'unité.

Ainsi que nous l'avons dit, l'absence d'observations complètes sur quelques points ne permet pas de résoudre avec une entière précision la question dont nous venons de nous occuper. Toutefois, il nous a paru utile d'indiquer, par un exemple, le sens suivant lequel elle doit être traitée et d'appeler ainsi l'attention sur les séries d'expériences qu'on devra entreprendre pour arriver à une solution définitive. Nous pensons d'ailleurs que, malgré quelques incertitudes sur certaines déterminations numériques, les résultats que nous venons d'exposer fixeront les idées sur l'utilité des limons pour procurer dans beaucoup de cas l'exhaussement du sol ; ces résultats, rapprochés de ce que nous avons dit sur les ségoneaux du Rhône et sur les golènes du Pô, nous paraissent ne devoir laisser aucun doute à cet égard.

Enfin, on ne perdra pas de vue qu'en ce qui concerne les dépôts fluviatiles, ce n'est pas seulement par cet exhaussement du sol, mais encore et surtout par l'énergie qu'ils communiquent à la production végétale qu'il faut les apprécier.

Des volumes d'eau fournis par les crues et des dommages occasionnés par leurs grandes vitesses.

Après nous être occupé des limons fertilisants que les eaux des crues tiennent en suspension, après avoir donné une idée des nombreux avantages que leurs dépôts peuvent procurer aux vallées, soit en facilitant l'exhaussement des bas fonds, soit en renouvelant l'énergie vitale de la terre, portons notre attention sur les volumes d'eau que les pluies exceptionnelles versent à la surface du sol et dont les fleuves, devenus insuffisants, vomissent les masses amoncelées sur les terrains qui les entourent.

Certes, si nous n'écoutons que les premières impressions produites par ces effrayants écoulements, il sera difficile d'échapper au pénible sentiment d'anxiété que fait naître dans le cœur des hommes le spectacle de cette prise de possession de la terre par les eaux; et, sans doute, nous aurons peine à comprendre qu'indépendamment des dépôts utiles dont nous venons de parler, il puisse y avoir encore de nouvelles compensations dans ces prodigieux amoncellements de liquide. Toutefois, ne nous hâtons pas de conclure, examinons de plus près les faits, voyons bien tout ce qu'ils renferment, et peut-être reconnaîtrons-nous que, si les phénomènes naturels, abandonnés à eux-mêmes, sont quelquefois une cause trop féconde de ruines, ils peuvent, par une sage intervention de l'homme, se transformer en de nombreux bienfaits.

Et d'abord, est-ce bien la masse des eaux, n'est-ce

pas plutôt leur vitesse qui est la cause la plus efficace de tous les dégâts? Qu'importe, en effet, qu'une terre qui doit être envahie par l'inondation soit recouverte par une tranche de liquide de quatre mètres, au lieu de l'être par une tranche de deux. Si la récolte doit être perdue dans l'un de ces cas, elle ne le sera pas moins dans l'autre. Une fois qu'une certaine hauteur des eaux est atteinte, tout le mal qui doit se produire sur les terres envahies est consommé, et, à la condition que les eaux seront calmes à mesure qu'elles continueront de monter, ces terres, loin de souffrir davantage, pourront, au contraire, recevoir une couche de limon d'autant plus épaisse que le liquide qui le renferme sera plus abondant. Malheureusement, au moment des crues, les eaux, au lieu de s'épancher tranquillement, arrivent avec rapidité, et leurs courants ont d'autant plus de violence que la crue monte davantage; alors ce ne sont pas seulement des pertes de récolte qu'on a à déplorer, mais de profonds bouleversements du sol, qui enlèvent à celui-ci sa substance la plus riche, qui déracinent les arbres et renversent les maisons; alors encore ce ne sont plus des limons qui se déposent, mais des sables, parce que les lois de la gravité veulent que les diamètres des particules abandonnées par les eaux soient d'autant plus grands que les vitesses de transport, au moment où le dépôt a lieu, le sont elles-mêmes davantage.

A la vérité, il faut reconnaître que plus la masse des eaux sera considérable, plus l'inondation aura d'étendue, plus nombreuses seront les surfaces en-

vahies. Mais si l'on a bien présentes à la pensée les observations que nous venons d'exposer dans la première partie de ce chapitre, cet envahissement, sous la condition que les vitesses seraient modérées, produirait un bien plutôt qu'un mal : les terres y gagneraient de nouveaux et fertiles engrais; les villes seules, que frappe le péché originel de leur établissement dans des régions trop basses, en souffriraient, et il faudrait recourir pour elles à des mesures exceptionnelles. Mais, à part cet inconvénient, auquel il n'est pas impossible de trouver un remède, de grandes masses d'eaux tranquilles ne feraient que hâter le colmatage naturel des vallées, et le mal momentané qu'elles engendreraient serait amplement compensé dans les années suivantes. L'envahissement, nous le répétons, n'a donc en soi rien de dangereux, il est réparateur; ce sont les vitesses, ce sont elles seulement qui détruisent.

L'analyse dans laquelle nous venons d'entrer contient, à vrai dire, tout le secret des mesures à prendre contre les inondations, secret fort simple selon nous, et qui depuis longtemps n'en serait plus un pour les hommes, s'ils avaient pris la peine de réfléchir sur la véritable nature de ce phénomène, secret dont toute l'explication consiste dans ces trois mots : *amortir les vitesses*. Ce n'est pas encore ici le lieu de développer toutes les conséquences de cette pensée; mais il en est une qui rentre directement dans le sujet que nous traitons en ce moment et dont nous allons entretenir le lecteur, parce qu'elle va nous faire comprendre que, si les crues sont utiles

par leurs dépôts limoneux, elles ne le sont pas moins peut-être par les volumes d'eau qui les composent.

Nécessité d'emmagasiner une partie de ces eaux.

En effet, s'il est incontestable que plus les masses d'eau apportées par les crues sont considérables, plus aussi les vitesses sont menaçantes ; et si, d'un autre côté, il y a un immense intérêt à ce que les vitesses soient amorties, on comprendra spontanément qu'un moyen infaillible d'obtenir ce dernier résultat sera de diminuer l'importance des écoulements en temps de crue, but facile à atteindre par la création de vastes réserves d'eau dans les régions montagneuses des vallées.

Notre intention, nous le répétons, n'est pas d'exposer encore les divers effets produits par ces réserves sur l'écoulement même de la crue ; mais, indépendamment de leur utilité directe dans l'action générale de cet état de crise, utilité sur laquelle nous insisterons dans ce qui doit suivre, ces volumes d'eau ainsi emmagasinés, ces volumes d'eau que la crue nous a donnés, que nous n'aurions pas eus sans elle, vont devenir, entre des mains intelligentes, la source d'importantes améliorations agricoles, et seront de nature à réduire dans une grande proportion les difficultés de la navigation de nos fleuves en basses eaux. C'est de ces deux sortes de résultats que nous avons l'intention d'entretenir maintenant le lecteur, et les détails dans lesquels nous allons entrer ne feront que corroborer, nous l'espérons, les convictions

que nous cherchons à faire naître sur l'utilité des crues.

Il ne faut pas avoir longtemps porté son attention sur la distribution annuelle de la pluie, dans un lieu quelconque de la terre, pour reconnaître que cette distribution est loin d'être régulière. D'abord elle ne l'est pas quant à la fréquence, et, le serait-elle à ce point de vue, que les considérations relatives aux intensités dans les débits viendraient troubler cet apparent équilibre. Même dans les lieux où il tombe, sinon plus fréquemment, du moins plus abondamment de l'eau dans la saison chaude que dans la saison froide, cet excès est loin d'être suffisant pour toutes les sortes de récoltes. Que de fois ne nous arrive-t-il pas en été d'implorer l'eau du ciel, et, par contre, que de fois, au printemps et en automne, ne nous plaignons-nous pas que nos rivières reçoivent trop d'eau !

La première pensée qui se présente à l'homme, en réfléchissant sur ces anomalies, c'est peut-être qu'il serait à désirer qu'une distribution plus uniforme s'observât dans le phénomène de la pluie. Mais est-il bien certain que ce nouvel équilibre dans les conditions hydrauliques du globe serait préférable à l'équilibre actuel ? Cette plus grande régularité dans la chute de la pluie pourrait bien être un avantage plus apparent que réel. On l'a dit souvent, le mieux est l'ennemi du bien, et c'est surtout dans les œuvres de la création que cette maxime doit être appliquée. Nous ne connaissons pas encore assez bien les raisons des phénomènes naturels pour que

nous puissions être certains que nos aspirations vers un meilleur état des choses ne sont pas de funestes illusions. S'il faut de l'eau pour activer le développement de la végétation, il faut un temps sec pour mûrir les récoltes; or, comme dans un même lieu tous les produits agricoles ne germent pas, ne se développent pas, ne mûrissent pas aux mêmes époques, comme d'une année à l'autre des retards de quinze, vingt et trente jours peuvent s'observer dans les diverses phases de la végétation, cette régularité tant souhaitée pourrait bien n'engendrer que du désordre, cette alternance calculée du sec et de l'humide, qui réussirait peut-être une fois, pourrait bien n'être en général qu'une série de contre-temps agricoles. Ainsi, outre que dans la pratique, si l'action de l'homme peut s'exercer sur les effets produits, elle n'a qu'une très-faible influence sur les causes, sachons reconnaître qu'au point de vue rationnel il nous est bien difficile de décider si nos tendances vers certaines améliorations ne seraient pas, au contraire, une aggravation des maux que nous voudrions éviter.

Résignons-nous donc à accepter dans leur essence et leur manifestation les phénomènes naturels tels que Dieu les a faits. Mais, nous venons de le dire, si l'homme n'a que fort peu d'action sur les causes, il peut en exercer de grandes, de très-puissantes sur les effets. Laissons donc les cataractes du ciel se déverser sur la terre à l'époque des grandes pluies, n'essayons pas de faire que les eaux s'échappent en moins grande quantité de l'Océan, ou restent

en plus grande abondance dans l'atmosphère, pour n'arriver sur la surface de notre globe qu'en plus petits volumes; ne luttons pas avec la science de Dieu, mais appliquons-nous à mettre à profit celle des hommes, et tirons-en tous les avantages que peut lui faire rendre le flambeau de notre intelligence.

Pour en revenir à la question spéciale qui nous occupe, rappelons ce que nous disions tout à l'heure, savoir : que d'abondantes réserves d'eau, créées dans les parties supérieures des bassins de nos rivières, produiraient une incontestable atténuation dans les effets des crues. Or, en ceci, notre intervention peut s'exercer tout entière, elle n'a pour limite qu'une sage appréciation du point où il faut savoir s'arrêter. Mais ce premier résultat obtenu n'est pas le dernier mot de l'utilité que nous pouvons retirer de ces travaux; les eaux ainsi soustraites à l'écoulement général des crues, ces eaux qui, abandonnées à elles-mêmes, n'auraient produit que des désastres, vont devenir, si nous savons en faire un emploi judicieux, une nouvelle source de prospérité.

Utilité de ces emmagasinements pour les irrigations.

Supposons un instant que, soit dans l'artère principale d'un fleuve, soit dans les diverses vallées qui sont ses tributaires, on ait créé des retenues susceptibles de tenir en réserve 200 millions de mètres cubes, et doublons seulement la quantité d'eau qui, dans le cours d'un été, pourra successivement être emmagasinée dans ces réservoirs, et épanchée ensuite, à diverses reprises, vers les parties inférieures du bas-

sin. C'est donc un volume de 400 millions que nous aurons à notre disposition; prenons-en la moitié seulement, et réservons-la pour des irrigations. Si on limite à quatre mois, en moyenne, la durée nécessaire des irrigations en France, nos 200 millions de mètres cubes donneront lieu à un écoulement régulier, pour chacun des jours de ces quatre mois, de 1,666,667, soit, à très-peu de chose près, 20 mètres cubes par seconde, avec lesquels on pourrait espérer d'arroser 20,000 hectares. Ce chiffre paraîtra d'autant moins exagéré, qu'aujourd'hui on compte moyennement en France qu'un mètre cube d'eau par seconde suffit à 750 hectares. Or, il importe de faire observer que ce qui nuit beaucoup aux irrigations dans notre pays, c'est l'irrégularité dans le débit des canaux; mais cet inconvénient ne serait pas ici à redouter, parce que des retenues aussi considérables que celles dont nous parlons permettraient de réaliser une grande constance dans le régime des eaux d'arrosage.

Si l'on remarque que tout le versant océanique de la région pyrénéenne ne compte que 13,800 hectares irrigués, distribués ainsi qu'il suit :

Basses-Pyrénées.	3,000 h.
Hautes-Pyrénées.	5,500
Ariége.	1,300
Haute-Garonne.	4,000

on comprendra sans peine la haute utilité d'un travail qui, indépendamment de tous ses autres avantages, aurait celui de porter immédiatement les sur-

faces arrosées dans un seul bassin à plus du double de l'étendue qu'elles occupent aujourd'hui.

Nous ne devons pas d'ailleurs négliger de faire observer que les rigoles à exécuter à la suite de nos réservoirs, traversant dans leur trajet de nombreux affluents secondaires, pourraient recevoir, presque sans frais, une partie de leurs eaux, ce qui aurait pour effet d'apporter un important accroissement au volume de liquide consacré aux irrigations.

« Partout, dit M. de Gasparin[1], où un vallon, re-« cevant les eaux d'une vaste surface de collines, « laisse échapper, lors des pluies ou des orages, un « torrent passager qui souvent dégrade les terres « inférieures; partout où un ruisseau, trop peu « abondant pour être utile, peut être retenu, et ses « eaux mises en réserve pour le besoin, la création « d'un réservoir peut devenir une source de ri-« chesses. »

On peut voir, dans l'ouvrage de M. Nadault de Buffon sur les irrigations, ce que dit cet ingénieur de l'intérêt qu'aurait la France à mettre la culture des prairies dans le rapport de 1 à 2 avec les terres cultivées à la charrue. Ses observations sont de nature à faire comprendre combien il importe à notre richesse territoriale que l'étendue des terres irriguées reçoive de notables augmentations.

Quant aux frais de cette opération, ils seraient nuls pour les réservoirs d'eau, puisque ces ouvrages seraient exécutés sur les crédits destinés à un autre ob-

[1] Cours d'agriculture.

jet : il n'y aurait donc qu'à s'occuper de l'exécution des canaux ; or, comme la plus-value des terrains qui recevraient les bienfaits de l'irrigation serait considérable, on aurait ainsi créé un important capital, dont une faible fraction serait certainement suffisante pour l'exécution des rigoles et des ouvrages d'art qu'elles exigeraient.

Pour bien fixer les idées sur l'importance des améliorations agricoles que peuvent procurer les irrigations, il ne sera pas inutile de présenter ici un résumé de quelques-uns des résultats obtenus. Nous ne pouvons mieux faire, à cet égard, que de recourir aux indications fournies par M. Hervé-Mangon.

« Pour abréger, dit cet ingénieur, nous choisissons « au hasard parmi les faits innombrables que nous « pourrions citer.

« Dans les arrondissements de Semur et d'Avallon « les terres se louent, dans les terrains granitiques, « de 12 à 30 fr., et dans ceux du lias de 30 à 70 fr. ; « les mêmes terres arrosées acquièrent une valeur de « de 45 à 100 fr. pour les premières, et de 75 à 180 fr. « pour les secondes. Les frais d'établissement des tra- « vaux d'irrigation sont évalués en moyenne à 300 fr. « par hectare.

« Dans les environs d'Autun, des terrains qui ne « valaient que 900 fr. l'hectare ont monté à 5,000 fr. « en cinq années. En Bretagne, des landes que l'on « vendait 300 fr. valent 3,000 fr.

« M. d'Angeville, à Lauprès (Ain), a fait des irriga- « tions dans des conditions tout à fait exceptionnelles « et des plus désavantageuses, puisque ses travaux

« ont coûté plus de 800 fr. par hectare. Néanmoins « l'argent employé est placé à plus de 10 pour 100.

« Les grèves de la Moselle, qui sont sans valeur « avant l'irrigation, arrivent en peu d'années à valoir « 5,000 fr. l'hectare.

« Un canal, construit en Auvergne par M. Herbeys, « pour dériver une partie des eaux de la Severaise, « arrose environ 1,800 sétérées de terres. La sétérée « de terre se vendait, avant l'établissement du canal, « 40 fr.; elle vaut maintenant 800 fr. Ce canal, de « 28 kilomètres de longueur, n'a pas coûté plus de « 100,000 fr., et a permis de créer une valeur de « 1,368,000 fr.

« Dans différents travaux d'irrigation exécutés par « M. Pareto, on a dépensé 165 fr. 66 par hectare. « L'augmentation moyenne du revenu net par hectare « a été de 66 fr. 25 cent. Ce résultat a été régulière- « ment constaté. C'est un placement fait à près de 42 « pour 100.

« En Sologne, les prés non irrigués donnent de « 1,600 à 2,000 kilogrammes de foin par hectare; les « prés arrosés en fournissent de 4,500 à 8,000.

« Terminons enfin par un exemple de travaux exé- « cutés sur une grande échelle, et où l'irrigation se « développe avec tous les caractères d'une vaste en- « treprise publique: c'est dans la Campine belge.

« Les bruyères de la Campine se vendaient, en « 1830 ou 1835, de 15 à 20 fr. l'hectare. Ce prix « s'éleva, en 1840, dans la prévision de la prochaine « exécution des travaux, à 40 fr. Aujourd'hui, le prix « de l'hectare est de 250 à 400 fr., déduction faite des

« sommes avancées par l'État pour les travaux pré-
« paratoires. Le prix des terrains incultes s'est donc
« accru de plus de 200 fr. par hectare, grâce aux tra-
« vaux préparatoires, ce qui donne, pour 25,000 hec-
« tares, une augmentation vénale de plus de 5 mil-
« lions.

« Cette augmentation, ajoute avec juste raison
« M. Hervé-Mangon, ne donne, du reste, qu'une me-
« sure tout à fait insuffisante des résultats des tra-
« vaux d'irrigation. Pour arriver à une estimation
« exacte de leur importance, il faut évaluer les pro-
« duits qu'ils permettront de créer annuellement. En
« supposant, ce qui est certainement fort au-dessous
« de la vérité, que chaque hectare de prairie ne nour-
« risse qu'une tête de gros bétail, la formation, en
« Campine, de 25,000 hectares de prairies, suffirait
« pour augmenter la production de viande, en Belgi-
« que, d'une quantité supérieure au chiffre considé-
« rable de l'importation actuelle de cette denrée.
« Mais ce n'est pas tout encore : les fumiers des ani-
« maux nourris au moyen des nouvelles prairies exer-
« ceront sur la culture des terres labourées envi-
« ronnantes une influence dont chacun appréciera
« la valeur, sans qu'il soit nécessaire de rappeler les
« chiffres que les agronomes admettent à cet égard.
« De sorte que non-seulement les 25,000 hectares de
« prairies que nous prenons pour base de nos calculs
« nourriraient 25,000 têtes de gros bétail, mais en-
« core augmenteraient, dans une énorme proportion,
« le produit annuel en céréales des terres voisines. En
« ajoutant la valeur de ces deux productions natu-

« relles, on arrive à la véritable estimation de l'ac-
« croissement de la richesse publique produit par les « travaux d'irrigation de la Campine. Cette dernière « remarque est d'ailleurs tout à fait générale, et s'ap- « plique à tous les cas que nous avons énumérés ; de « sorte que l'accroissement *direct* de revenu, que nous « avons pu seul faire entrer en ligne de compte, doit « être augmenté dans une forte proportion pour te- « nir compte de l'accroissement *indirect* dû à l'amé- « lioration des cultures voisines. »

On comprendra sans peine que nous ne saurions avoir l'intention d'entrer ici dans les divers détails qui se rattachent à la mise à exécution d'un projet pareil à celui que nous venons d'indiquer, car de telles études ne constituent pas essentiellement le but que nous poursuivons dans cet écrit ; mais cette question incidente a, comme on voit, un rapport très-direct avec l'utilisation qu'on peut faire des excédants d'eau fournis par les crues, et, à ce titre, nous devions en dire assez pour faire apprécier tout ce qu'il peut y avoir de fondé en théorie, de réalisable dans la pratique, dans ce mode d'emploi des eaux surabondantes.

Pour la création de forces hydrauliques.

A ce même point de vue, il importe de faire observer que les réservoirs étant placés en des points dont l'altitude aurait une certaine importance, les eaux conduites pour l'irrigation trouveraient sur le terrain plus de pente qu'il n'en faut pour arriver à leur destination. On pourrait donc sur leur parcours

établir une série de chutes, dont l'intérêt social aurait d'autant plus de valeur que ces chutes fonctionneraient précisément avec leur maximum de puissance dans les sécheresses, c'est-à-dire au moment même où l'action de toutes les autres vient à se ralentir, et même à s'arrêter tout à fait. Supposons que la portion de pente ainsi utilisée représente en totalité une hauteur de 100 mètres, ce qui à coup sûr n'a rien d'excessif, et que les trois quarts seulement des 20 mètres cubes ci-dessus profitent de cette chute; il en résulte que cette fraction des eaux d'arrosage serait animée d'une puissance de 20,000 chevaux-vapeur, et nous ne croyons pas sortir des limites d'une évaluation très-modérée en appréciant à 8 ou 9 millions la valeur ainsi créée.

Tels sont, au point de vue agricole et industriel, les divers avantages qu'on pourrait retirer de cette masse d'eau surabondante des crues, de cette eau si féconde en ravages, aujourd'hui qu'elle est abandonnée à elle-même, et pourtant si riche en bienfaits, si nous savons en tirer parti. N'avions-nous pas raison de dire que tout n'est pas désastre dans les crues, et qu'il dépend de l'homme d'y trouver la source de nouvelles prospérités?

Pour l'amélioration de la navigation des rivières en basses eaux.

Mais ce n'est pas tout, car sur les 400 millions de mètres cubes dont nos réservoirs nous permettraient de disposer en été nous n'en avons pris que 200 pour les irrigations; il nous en reste donc encore tout au-

autant qui, appliqués à la navigation de nos fleuves, peuvent nous rendre d'importants services.

Tandis que la Loire peut débiter à Orléans 10,000 mètres cubes par seconde, à l'époque des fortes crues, elle n'en fournit plus que 30 en étiage moyen, et même on l'a vu descendre jusqu'à 24. Tandis que, dans les grandes inondations, la Garonne débite à Tonneins 10,500 mètres cubes, M. Baumgarten nous apprend qu'au même point l'écoulement en étiage est réduit en moyenne à 50 mètres cubes, et qu'il peut même s'abaisser jusqu'à 37.

La comparaison de ces nombres suffit pour donner une idée des énormes différences qui existent entre les débits d'étiage et ceux des crues; leur rapport est de 1/333 pour le premier de ces fleuves, de 1/210 pour le second. Que résulte-t-il de cet état de choses? que nos rivières sont réellement dépourvues d'eau en été, et que chaque année la navigation est obligée de subir de fâcheuses interruptions. Voyons maintenant quelles ressources nous fourniraient à cet égard nos grandes retenues d'eau. Les 200 millions dont nous pouvons disposer, après avoir fait la part des irrigations, s'ils étaient employés dans l'intervalle d'un mois, fourniraient un volume régulier de 77 mètres cubes par seconde; ils feraient donc plus que tripler le débit de la Loire en basses eaux, et porteraient celui de la Garonne à deux fois et demi sa valeur. Cette ressource, combinée avec l'exécution de travaux ayant pour objet la création d'un bon lit d'étiage, aurait très-probablement pour résultat de faire disparaître partout les chômages d'été sur nos fleuves. Nous n'a-

vons pas de renseignements assez précis sur la durée de ces chômages dans la Loire pour assurer que ces moyens, qui dans tous les cas atténueraient le mal dans une forte proportion, seraient suffisants pour le conjurer entièrement, mais nous pouvons être plus affirmatif pour ce qui concerne la Garonne. M. Baumgarten a en effet constaté, dans ses études sur ce fleuve, que la navigation n'est réellement gênée que lorsque les eaux sont en contre-bas de la cote 0m,60 à l'échelle de Tonneins, ce qui n'arrive que pendant vingt-deux jours en moyenne par an. Or, les 50 mètre d'étiage, réunis aux 77 fournis par les réservoirs, donneraient un total de 127 mètres cubes; et comme dans cet état de la rivière les eaux atteignent à Tonneins la cote 0m,62, on conclut de ce rapprochement que la navigation pourrait désormais s'effectuer sans entraves sur ce fleuve pendant le cours de l'année entière.

Ainsi, l'amélioration de nos lignes navigables pendant la période des sécheresses, voilà un nouveau bienfait que les eaux d'inondation, sagement utilisées, nous permettraient de réaliser.

Utilité des crues pour conserver la navigation dans la partie maritime du lit des fleuves.

Mais il existe dans les crues un autre grand principe conservateur, dont l'intelligence ne se révèle pas spontanément au vulgaire, et que, par ce motif, nous croyons devoir exposer ici avec quelques détails; nous voulons parler de ce qui se passe à l'embouchure de nos rivières dans la mer.

Lorsqu'on porte son attention sur cette partie du cours des eaux, lorsqu'on remarque qu'elle est encombrée par de vastes dépôts, lorsqu'enfin on reconnaît que les fleuves en général ne débouchent à la mer que par des passes fort étroites, on est naturellement porté à penser que ces dépôts proviennent des sables et des vases que les rivières charrient pendant les hautes eaux, et on se sent entraîné vers cette conclusion que si, dans les diverses circonstances que nous venons d'étudier, tout semble utile dans les crues, il n'en est plus de même dans le cas actuel; de sorte qu'au point de vue de la facilité des communications des fleuves avec la mer elles sont de véritables fléaux, et qu'il serait à désirer qu'on pût obtenir une large diminution dans leur intensité.

Certes, il n'y a rien en apparence que de très-logique dans cette manière de raisonner, et, pour notre part, nous ne sommes pas surpris qu'elle ait entraîné plusieurs convictions. Mais si nous entrons dans le détail des actions diverses qui s'exercent à l'embouchure des fleuves, si nous étudions avec soin ce qui s'y passe, soit pendant l'absence des crues, soit immédiatement après leur passage, nous verrons se développer une série de faits qui, non-seulement ne corroborera pas l'idée qu'on se fait généralement des apports fluviatiles, mais qui sera en contradiction flagrante avec l'opinion que nous venons d'exposer: nouvel exemple de la prudence avec laquelle nous devons chercher à nous rendre compte des causes finales des phénomènes naturels, et des erreurs où pourrait nous conduire une étude peu ap-

profondie des lois d'équilibre qui exercent leur action à la surface du globe.

Et d'abord, lorsqu'on parcourt avec un œil attentif les rivages de l'Océan, on peut remarquer que partout où la mer rencontre un obstacle elle le heurte incessamment et finit par le briser, que partout où elle peut librement s'étendre elle forme de vastes dépôts. La destruction non interrompue des falaises du littoral, l'entassement des galets sur certaines plages où ne débouche aucun cours d'eau, les lignes mobiles et si menaçantes des dunes, sont les témoins irrécusables de ce que nous avançons ici. Il y a donc une énergique puissance de transport dans les flots de la mer; et, en effet, Brémontier n'évaluait pas à moins de 1,200,000 mètres cubes la quantité de sable que l'Océan dépose annuellement sur les côtes de Gascogne.

Que devons-nous conclure de ces faits? qu'à l'embouchure des fleuves deux forces sont en présence: l'une venant des eaux douces du continent, qui transportent des vases et des sables, mais qui, de nos jours, n'ont pas assez de puissance pour charrier jusque-là des graviers, même de la plus petite dimension; l'autre détruisant avec énergie les roches massives et parsemant leurs volumineux débris sur le littoral. Certes, il n'en faut pas davantage pour faire comprendre de quel côté se trouve la plus grande puissance de transport, et pour faire naître la pensée que si la mer reçoit quelques apports du continent elle les lui rend sans doute avec usure.

Mais, dira-t-on, dans ces deux mouvements d'os-

cillation dont se compose chaque marée, le flot et le jusant, ne faut-il pas admettre que si l'un porte des dépôts vers la terre, l'autre les ramène vers la mer? Le second détruira donc ce qu'a fait le premier, et, ces deux forces antagonistes s'anéantissant mutuellement, l'effet définitif du fleuve persistera, et cet effet sera d'autant plus considérable que la masse des eaux limoneuses le sera elle-même davantage, c'est-à-dire que les crues seront plus fortes.

Quelque séduisant que paraisse ce raisonnement, il ne saurait prévaloir contre les faits; or la puissance de ceux-ci est telle qu'on est contraint de reconnaître qu'une pareille explication ne serait qu'une grande erreur. En effet, si le jusant détruisait les effets du flot, il faudrait que les 1,200,000 mètres cubes de sable annuellement apportés sur les côtes de Gascogne rentrassent dans la mer; or la marche progressive des dunes prouve assez qu'ils restent sur le continent. Si l'effet des crues était réellement encombrant, il faudrait que les embouchures des fleuves fussent plus libres en été qu'en hiver: or c'est le contraire qui arrive; il faudrait que les passes fussent d'autant plus obstruées que les écoulements des fleuves auraient été plus abondants: or c'est toujours après les fortes crues qu'elles sont plus profondes et plus faciles à franchir. C'est qu'en réalité il n'est pas exact de dire que les deux courants de flot et de jusant sont égaux, il n'est pas vrai qu'il y a équilibre entre leurs effets : le premier l'emporte de beaucoup sur le second; le flot, en un mot, a plus de puissance pour atterrir la terre ferme que n'en a

le jusant pour la déblayer. Et pourquoi les choses se passent-elles ainsi ? parce que la vitesse du courant de flot est beaucoup plus considérable que celle du courant contraire. Si en effet on étudie, vers l'embouchure d'un fleuve, la Loire par exemple, entre Nantes et la mer, la marche ascendante et descendante de la marée[1], on se convaincra que, tandis que la masse liquide apportée par le flot ne met que trois heures pour atteindre son niveau le plus élevé, cette même masse, descendant avec le jusant, en exige neuf pour revenir au point le plus bas. L'aller met donc trois fois moins de temps pour s'effectuer que le retour; il marche donc trois fois plus vite que lui, et voilà pourquoi il porte vers le continent une plus grande quantité de dépôts que la retraite des eaux, avec ses vitesses amorties, ne peut en restituer à la mer; voilà pourquoi aussi le jusant, n'étant pas aidé en été par les eaux douces des rivières, réduites à cette époque à leur étiage, laisse s'accumuler les dépôts que le flux a apportés; voilà pourquoi enfin les grandes crues, qui dans l'hiver viennent puissamment en aide au jusant, déblayent et approfondissent les passes et restituent aux embouchures la part du lit qu'elles avaient perdue pendant les périodes d'étiage.

M. l'ingénieur en chef Bouniceau[2], qui a étudié avec beaucoup de soin cette question des embouchures, a décrit avec une grande précision les effets

[1] *Annales des ponts et chaussées*, année 1848, 2me semestre, p. 191.

[2] Navigation des rivières à marées, p. 68.

des marées et des courants océaniques sur les côtes et dans la partie maritime du lit des rivières. Nous ne pouvons mieux faire, pour compléter et sanctionner les développements qui se rattachent à ce sujet, que de reproduire ici le passage suivant de son ouvrage :

« Lorsque la mer est peu agitée, le flot n'emporte « avec lui qu'une petite quantité de sable et de vase, « qu'il détache de la barre et des bancs sur lesquels « il opère sa course. Lorsque la mer est très-agitée, « au contraire, les eaux chargées de troubles, par « suite de l'agitation des vagues, emportent en outre « ceux qui sont détachés par les courants, les sables « les plus gros se déposent dans la partie inférieure « de la rivière, et la barre, qui est généralement for- « mée de ces gros sables, n'est quelquefois que très- « peu reportée vers l'amont ; les sables moins lourds « sont portés jusqu'à quelque distance dans l'inté- « rieur, et l'on ne rencontre plus que de la vase très- « légère dans les dernières régions atteintes par le « flot.

« Des dépôts se forment ainsi dans presque toute « la longueur parcourue par la marée ; le jusant n'en « remporte ensuite qu'une partie, et la marée sui- « vante, en passant sur ce qui est resté en dépôt, en « enlève quelques parties et les remonte plus haut « dans la rivière, de sorte que les vases les plus té- « nues arrivent à une grande distance à l'amont. « Chaque marée augmente ainsi la quantité des dé- « pôts qui se forment, jusqu'à ce qu'une crue de la « rivière détache toutes ces alluvions, les emporte jus-

« qu'à la mer et les dépose à son embouchure. Il ré-
« sulte de là que la puissance du flot pendant les
« basses eaux de la rivière est supérieure à la puis-
« sance du jusant augmenté des eaux douces et aidé
« par la pente naturelle du lit; que pendant les crues,
« au contraire, la puissance du flot est inférieure à
« celle du jusant augmenté des eaux douces et favo-
« risé par la pente du lit. On voit donc que le jusant
« ne serait pas seul capable de maintenir toujours
« ouverte l'entrée d'une rivière, si des crues considé-
« rables ne venaient de temps à autre produire leur
« effet. Sur nos côtes, le jusant ne fait qu'entretenir
« incomplétement le passage, jusqu'à ce qu'un hiver
« vienne le rétablir, nettoyer le lit des rivières et le
« rendre capable de former pour l'été suivant un
« vaste réservoir, qui fait les fonctions de bassin de
« retenue et de chasse. Si les eaux douces, et princi-
« palement les crues, ne prêtaient de cette manière
« leur secours au jusant, si, par une cause quelcon-
« que, leur cours se trouvait interrompu, les rivières,
« dont l'embouchure se trouve chargée d'alluvions,
« seraient bientôt remplies par l'action de la mer et
« deviendraient promptement des terrains propres à
« la culture. On a eu un exemple frappant d'un pareil
« effet dans la rivière de la Somme. Un canal latéral
« à cette rivière avait été construit depuis Abbeville
« jusqu'à Saint-Valery. Ce canal ayant une largeur
« suffisante pour l'écoulement des eaux de la rivière,
« on crut devoir barrer celle-ci aux environs d'Ab-
« beville et détourner ainsi les eaux douces de leur
« route ordinaire : l'encombrement du lit de la

« Somme fut une conséquence presque immédiate de « ces dispositions. »

Les observations que M. Bouniceau a faites sur les côtes de France ont été aussi l'objet des études de Henry Palmer sur celles d'Angleterre :

« Si les encombrements, dit l'ingénieur anglais, « provenaient des hautes terres à un degré sensible, « les quantités qui se déposent de temps en temps « devraient être quelque peu proportionnelles aux « quantités de pluie qui tombent aux mêmes époques, « parce que le même volume de matières descendues « des hautes terres et charriées à travers la partie su- « périeure du lit maritime doit être réglé en quantité « par la quantité d'eau qui le transporte. Mais c'est « un fait hors de doute que les accumulations de « sable qui existent dans le voisinage de Runcorn « (en amont et en aval de ce lieu) sont d'autant plus « grandes que les eaux douces venant des hautes « terres sont moins considérables, et telle est leur « augmentation dans les grandes sécheresses, qu'elle « est très-nuisible pour ceux qui naviguent dans la « partie supérieure du lit maritime. On peut remar- « quer alors que les atterrissements croissent d'une « manière progressive jusqu'à l'arrivée d'une crue « qui emporte l'excès des dépôts accumulés. »

On peut joindre à ces témoignages ceux des ingénieurs Lamblardie, Stevenson, Cordier, et surtout celui qu'a exprimé M. l'ingénieur en chef Marchal dans son mémoire sur les alluvions à l'embouchure des fleuves[1].

[1] *Annales des ponts et chaussées*, 1854, 1er sem., p. 190 et suiv.

A toutes ces preuves de l'importance des apports maritimes et de l'efficacité des crues pour en combattre les effets qu'il nous soit permis d'en ajouter une dernière, que nous puisons dans la création des puissantes dunes du littoral, et qui, bien qu'elle n'ait pas encore été signalée, nous paraît devoir être considérée comme une des plus décisives.

Ce n'est pas seulement au point de vue de cette grande quantité de matières que la mer jette chaque année sur le continent qu'il faut considérer les dunes; on doit aussi voir dans leur existence une confirmation remarquable du principe que nous avons fait connaître ci-dessus, et en vertu duquel la puissance du flot pour atterrir est supérieure à la puissance contraire du jusant. Il faut, avons-nous dit, que celui-ci soit secondé par les crues pour que l'équilibre soit maintenu et que les embouchures des rivières ne soient pas définitivement obstruées. Or, dans le golfe de Gascogne, il n'est pas un seul des cours d'eau, qui de l'intérieur des terres se dirigent à peu près perpendiculairement vers cette partie du littoral, dont l'écoulement n'ait été profondément altéré. Les dunes ont eu assez de puissance pour élever les barres des embouchures à des hauteurs exceptionnelles; de là cette série d'étangs, disposés suivant une ligne parallèle au rivage de la mer, et comme suspendus sur ses eaux, qui marquent invariablement le terme de tous les écoulements intérieurs. C'est que dans cette contrée la faculté éminemment absorbante des terrains sableux de la surface, la très-faible déclivité de ces terrains, ont été un obstacle au développement

et à l'intensité des crues; le flot a donc toujours pu dominer, les atterrissements ont grandi, la nappe des étangs s'est étendue, les crues déjà faibles des rivières ont dès lors cessé d'arriver jusqu'aux embouchures; celles-ci, lorsqu'elles n'ont pas complétement disparu, ont été remplacées par le simple écoulement du trop-plein des étangs faisant fonction de réservoirs régulateurs, et la barrière formée sur ces rivages par les sables de la mer a vu successivement disparaître les lacunes qui sans doute à l'origine brisaient de distance en distance la continuité de son cours.

Ainsi les crues, indépendamment des divers avantages qu'elles peuvent nous procurer par leurs limons et par un emploi judicieux de leurs eaux surabondantes, ont en outre reçu la mission providentielle de lutter aux embouchures des rivières contre les envahissements de la mer et de maintenir un équilibre sans lequel les relations entre la terre ferme et l'Océan auraient bientôt disparu.

Et maintenant que les caractères essentiels du phénomène des inondations nous sont bien connus, maintenant que nous pouvons apprécier les avantages et les inconvénients de ce phénomène, nous nous trouvons en mesure de nous prononcer sur l'utilité ou les dangers que peuvent offrir, soit les travaux entrepris dans le passé, soit les mesures proposées pour l'avenir. C'est ce dont nous allons nous occuper dans les études qui vont suivre.

CHAPITRE IV.

DU SYSTÈME DE L'ENDIGUEMENT LONGITUDINAL, DE SES VICES ET DE SES DANGERS.

Les digues longitudinales aggravent tous les périls des crues et suppriment tous leurs bienfaits.

Après avoir sérieusement réfléchi sur les considérations exposées dans les chapitres précédents, on sera conduit, ce nous semble, à cette conclusion, que les crues par elles-mêmes ne sont pas aussi désastreuses qu'on serait porté à le croire après un premier et vague aperçu ; que si par leur violence elles sont une cause malheureusement trop efficace de destruction, elles peuvent au contraire, au point de vue de la masse de leurs eaux et du limon qu'elles renferment, être utilement mises à profit par d'intelligents travaux, et que si l'homme se déterminait enfin à faire une sage application de cette maxime vulgaire, mais aussi vraie que féconde : Aide-toi, le ciel t'aidera, il parviendrait à transformer en de véritables bienfaits les désolantes catastrophes sur lesquelles nous gémissons aujourd'hui.

En résumé, quelle est la chose qui dans les crues produit les désastres ? C'est la grande rapidité des courants, soit que cette rapidité provienne des circonstances naturelles elles-mêmes, soit qu'elle ait été

occasionnée ou augmentée par les travaux des hommes. Quelle est, au contraire, la chose qui peut donner aux crues une grande utilité sociale? C'est la masse de leurs eaux, si, d'une part, nous savons les emmagasiner en partie pour des besoins ultérieurs, et si, d'autre part, nous savons les diriger avec des vitesses modérées, sur les vastes espaces qu'elles fertiliseront par leurs limons.

Qu'on parvienne, à l'aide d'un système convenable de travaux, à concentrer les grandes vitesses dans le lit même du fleuve suffisamment agrandi, et à les annuler à peu près sur les terrains soumis aux épanchements du liquide; que ces épanchements, au lieu de revêtir un caractère torrentiel et fatalement destructeur, procèdent par voie d'accession calme et modérée; qu'on diminue dans un moment donné, à l'aide de vastes emmagasinements temporaires ou permanents, la hauteur aujourd'hui si menaçante des inondations, et on aura certainement transformé en un grand bienfait ces violents passages des eaux, aujourd'hui si féconds en ruines.

Qu'a-t-on fait jusqu'à ce jour pour atteindre ce but? le contraire, il faut le dire, de tout ce qu'on devait faire. Nous nous estimerions heureux si nos observations, jointes à celles des hommes compétents qui seront appelés à donner leur avis sur ces matières, parvenaient à conjurer les dangers de plus en plus imminents auxquels on s'expose en persistant dans la voie où, jusqu'à ce jour, on s'est malheureusement engagé.

Quelle est, en effet, cette voie? elle se borne à peu

près exclusivement à endiguer longitudinalement les rivières, c'est-à-dire, à faire des travaux qui ont pour objet de concentrer de plus en plus le cours des eaux dans un espace limité, à augmenter par conséquent leurs vitesses d'écoulement, à leur faire prendre plus sûrement et plus fréquemment que par le passé des hauteurs inaccoutumées, à aggraver en un mot tous les périls, et en même temps à supprimer tous les avantages.

Il n'est pas nécessaire, ce nous semble, de recourir à de minutieuses recherches historiques, pour conclure à peu près à coup sûr que si des villes comme Moulins, Nevers, Orléans, Tours, Angers, Nantes ont pu s'établir, se développer et conquérir irrévocablement leur prise de possession sur les points où elles se trouvent aujourd'hui, c'est que sans doute elles n'ont pas éprouvé, dans les périodes anciennes, et surtout aux époques de leur création, les assauts redoutables auxquels elles sont en butte de nos jours, et qui semblent devenir de plus en plus destructeurs. Que pour une ville qui, en particulier, se serait trouvée dans des conditions commerciales et industrielles tout à fait exceptionnelles, ce phénomène eût été observé, nous le comprendrions; car les instincts commerciaux et industriels ont toujours plus de ténacité et de puissance pour se défendre que les instincts agricoles; mais que de tels faits se fussent produits sur la série entière des nombreuses cités qui avoisinent la Loire, c'est ce qu'il paraît à peu près impossible d'admettre.

Nous ne voulons pas dire pour cela que ces pays

n'ont pas été anciennement inondés, nous n'affirmons pas non plus qu'ils l'ont été moins souvent et sous des hauteurs moindres que celles que nous observerions aujourd'hui, si, les digues n'existant pas, les crues pouvaient s'épandre librement; mais ils l'ont été sans trop de violence et avec des vitesses sensiblement moindres que celles qui sont provoquées de notre temps par l'établissement et surtout par la rupture des digues. Dans ces circonstances, les désastres des crues ont été peu de chose, leurs bienfaits ont été immenses, et l'inondation, en assurant la fertilité des terres, est devenue la meilleure garantie de la prospérité des villes. Il ne nous paraît pas possible d'expliquer autrement que par ces considérations cette accumulation de villes, de populations, de richesses, que présente dans toute l'étendue de son cours une vallée comme celle de la Loire.

Nous avons déjà parlé des effets de la fameuse crue de 1846, et nous ne reviendrons pas sur des détails qui sont connus du lecteur; mais le parallèle entre les faits qui ont eu lieu en amont de Roanne et ceux qui se sont produits à l'aval nous paraît apporter avec lui des conclusions décisives.

D'un côté, épanchement libre du liquide avec des vitesses modérées sur des plaines sans défenses, suivi de dépôts limoneux qui ont augmenté la richesse productive du terrain.

De l'autre, déversement violent sur le sol des eaux tenues à de grandes hauteurs par des digues longitudinales, rupture de ces digues, courants rapides à la suite de ces ruptures, plus dévastateurs encore

que ceux du fleuve lui-même, chargés de sables et de grèves au lieu de limon, et qui ont apporté, pour plusieurs années, une désolante stérilité là où régnait la veille une grande puissance de végétation.

Jusqu'à ce jour la parfaite consolidation des digues n'a pu être obtenue.

Si encore il était permis d'espérer que les digues ne seront pas détruites, qu'elles seront réellement insubmersibles, la mesure ne serait mauvaise qu'à moitié; elle aurait sans doute pour résultat fâcheux d'empêcher la réalisation des bienfaits des crues, mais du moins elle servirait à contenir le fleuve et à préserver le pays de ses irruptions.

Mais, en ce qui concerne la parfaite consolidation des digues, l'expérience a prouvé que jusqu'à présent c'est là un espoir dont on se berce toujours et qui ne se réalise jamais.

Parmi les fortes crues qui, depuis quelques années, ont été observées dans la Loire, y en a-t-il une seule pendant laquelle des ruptures n'aient pas eu lieu sur plusieurs points?

« M. Polonceau[1], dans sa brochure de 1847, fait « remarquer que les crues de la Saône et du Rhône « ayant, en 1840, coupé ou renversé plusieurs des « fortes digues en pierre qui bordent ce fleuve, on « se borna à les reconstruire avec plus de soin, ce « qui n'empêcha pas de nouvelles crues, survenues « en 1843, de les percer et renverser de nouveau. »

[1] Rapport de M. l'ingénieur en chef Manès à l'Académie de Bordeaux sur le concours relatif aux inondations.

Qu'on ne s'imagine pas, d'ailleurs, que ces accidents sont, aux époques d'inondations, fort clairsemés le long des fleuves, et qu'on n'en compte que deux ou trois au plus par vallée. Là ne s'arrête pas malheureusement la désolante nomenclature des désastres produits par les eaux. Nous voudrions ne pas invoquer ici les tristes souvenirs de 1856, mais, en présence des grands intérêts de l'avenir, nous ne devons pas hésiter à rappeler les catastrophes et les douleurs du passé; disons donc quelles ont été, pour quelques-uns de nos fleuves, les principales ruptures.

Sur le Rhône, mettons en première ligne celle des remblais du chemin de fer aux abords de Tarascon, qui, en dévastant les campagnes, a du moins produit l'heureux résultat de sauver la ville; citons ensuite celle de la levée placée en tête de la Camargue, celle de la chaussée de la Parade, protectrice du Plan du Bourg; celles enfin de Boulbon, de Saint-Pierre de Mézoargue et de la Montagnette.

Sur la Loire, nous comptons les ruptures de Jargeau, d'Onzain, de la Varenne, d'Amboise, de Mont-Louis, de Limeray, de Vernou, de Vouvray, de Saint-Mars-la-Pile, de la Divate, de Mœung, d'Onzener, de Boutrons.

Sur l'Isère, trois ruptures ont eu lieu en amont de Grenoble, savoir : aux digues du Thouvet, de Crolles, de Froges; trois autres en aval de cette ville : à Fontanil, à Voreppes, à Moyrans. Sur ce fleuve, les digues de Meyran seules ont résisté.

Cette affligeante liste n'a que trop d'éloquence :

elle prouve que la rupture des digues n'est ni une rare exception, ni un fait isolé; qu'il n'est malheureusement que trop vrai qu'elle constitue la règle générale; elle nous apprend que, dans les grandes crues, l'état normal des défenses longitudinales c'est d'être détruites, au grand détriment des campagnes auxquelles on a voulu donner une si calamiteuse protection.

En vérité, nous le demandons, y a-t-il dans ces vallées un seul des champs auxquels on croyait avoir assuré un abri qui n'ait été envahi? Y a-t-il un seul mètre superficiel que les digues aient préservé? Si donc nous ne pouvons empêcher la submersion, faisons du moins qu'elle soit calme au lieu d'être torrentielle, et renonçons enfin à des travaux qu'il faudrait condamner s'ils n'étaient qu'inutiles, que nous devons maudire parce qu'ils centuplent les ruines.

En Lombardie, où le système d'endiguement existe depuis si longtemps, et où il a pu recevoir tout le perfectionnement nécessaire, des ruptures importantes de digues ont moyennement lieu tous les dix ans; l'ingénieur italien Lombardini en compte six depuis le commencement du siècle actuel.

La Russie, comme la France, a éprouvé à son tour, en 1856, les désastreux effets des inondations. Là encore, les digues n'ont présenté qu'une barrière insuffisante contre l'action des eaux, et d'immenses pertes ont été le résultat de leurs inévitables ruptures :

« On a maintenant, lisons-nous dans le *Moniteur*

« du 24 octobre, des détails sur la grande inonda- « tion qui a ravagé Astrakan, au commencement de « cet été. Les digues gigantesques, que des milliers « d'ouvriers avaient mis plusieurs jours à construire, « ne purent résister à l'effort des eaux du Volga, qui « augmentaient à chaque instant. Elles furent rom- « pues subitement, et l'eau se précipita avec une « violence inouïe sur la ville. Toutes les maisons « bâties en bois furent emportées et, en un clin « d'œil, il y eut onze pieds d'eau dans les rues. Des « centaines de personnes périrent, malgré les efforts « faits pour les sauver, et on a eu à constater des « pertes incalculables en marchandises. »

Ainsi, en France, en Italie, en Russie, partout, en un mot, où il y a des digues, il faut s'attendre à l'enregistrement périodique des plus terribles catastrophes.

Toutefois, nous conviendrons que si l'on n'avait eu, pour s'éclairer, que l'expérience de ces faits de date récente, on eût pu se laisser entraîner par tout ce qu'offre de séduisant la pensée de mettre à tout jamais de vastes surfaces de terrains à l'abri des inondations; nous comprendrions qu'on ne se crût pas obligé à devoir subitement s'arrêter en présence de quelques insuccès, et qu'avant d'abandonner un système qui avait éveillé de vives sympathies on se fût déterminé à attendre encore quelques années, pendant lesquelles on aurait pu découvrir les moyens de remédier à des imperfections, qu'on regardait comme des accessoires plutôt que comme des éléments essentiels de ce système.

Mais l'histoire des siècles précédents aurait dû apprendre à ceux qui se sont fait les propagateurs de l'endiguement longitudinal des fleuves tout ce qu'il y a de chimérique dans de telles pensées. Les faits qu'elle a enregistrés dans ses annales, si on les avait sérieusement consultés, auraient condamné d'avance des prévisions qui ont toujours été démenties.

Désastres produits par la rupture des digues dans les siècles qui ont précédé le nôtre.

Le sujet que nous traitons est trop important pour qu'une revue rétrospective des malheureuses tentatives du passé ne nous paraisse pas digne de fixer notre attention. Sans entrer dans le détail de tous les exemples que nous pourrions invoquer, nous nous bornerons à en citer deux, aussi remarquables par l'étendue des terrains auxquels ils s'appliquent que par les tristes conséquences qui s'y rattachent : nous voulons parler des endiguements de la Scarpe et de ceux des rivières de la Néerlande. Nous empruntons les documents relatifs au premier de ces cours d'eau à l'intéressant travail de M. Lamarle, inséré dans les *Annales des ponts et chaussées*[1].

« La partie de la Scarpe, dit l'auteur, qui s'étend « depuis le fort de ce nom jusqu'au confluent dans « l'Escaut, établit, entre les principales villes du dé-« partement du Nord et les mines de Mons et de

[1] Année 1841. 2me semestre, p. 130 et suiv.

« Condé, une communication d'une grande importance.

« Navigable dès l'an 1060, cette rivière servait autrefois au transport des blés de l'Artois et des pays voisins vers les villes de Flandre qui en tiraient leurs approvisionnements; la rivière alors n'était pas endiguée, et de rares ouvrages d'art facilitaient, dans les basses eaux, la descente des bateaux chargés.

« La faiblesse de la pente de la rivière, son cours ordinairement paisible favorisaient le mouvement d'une navigation descendante, et elle subsista telle jusqu'au moment où la découverte des mines d'Anzin, en 1734, vint créer de nouveaux besoins et exercer sur les transports du pays en général, et de la Scarpe en particulier, une influence marquée.

« Bientôt (1752) les barrages se multiplièrent sur le cours de la rivière; des digues furent établies avec le concours des riverains, et une navigation ascendante, chaque jour plus importante, vint successivement remplacer les chargements en descente qui commençaient à diminuer.

« Cette modification essentielle du régime de la rivière, utile au commerce, produisit des conséquences fâcheuses pour le dessèchement des marais qui bordent la Scarpe : ces marais, d'une étendue considérable, présentant une faible pente, furent privés des bienfaits du colmatage ; les eaux limoneuses de la Scarpe, retenues dans leur lit par l'endiguement des rives, y déposèrent des allu-

« vions, et plus tard le défaut d'entretien amena le « relèvement progressif du niveau des eaux et des « digues. Les anciens cours d'eau ne pouvant plus « s'écouler naturellement dans la Scarpe, il fallut y « substituer des canaux artificiels, dont les orifices « durent eux-mêmes être successivement reportés « vers l'aval.

« Au bout d'un certain nombre d'années, ces in- « convénients, développés par l'action lente de causes « sans cesse agissantes, auxquelles on n'opposait que « des remèdes inefficaces, acquirent une gravité « réelle; le mal empira, et la rivière, au lieu d'être, « comme autrefois, le réservoir naturel et le moyen « d'écoulement des eaux du pays, devint une cause « constante de dommages pour les propriétés rive- « raines, et, dans certaines années, l'origine de « submersions complètes et de calamités géné- « rales.

« Les canaux de desséchement, malgré leurs pro- « longements successifs, devenaient insuffisants pour « écouler les eaux et le produit des filtrations à tra- « vers les digues de la rivière; celle-ci, suspendue « entre deux massifs, dont la solidité diminuait cha- « que année par les corrosions et les éboulements, « coulait, en certaines parties, sur un lit plus élevé « que le sol même des marais voisins, et rompait « ses frêles barrières dans les hivers rigoureux.

« Alors une inondation générale, dont les eaux « s'écoulaient rarement assez tôt pour permettre les « semailles, s'étendait sur toute la vallée; souvent « aussi, en été, des pluies continues ou une forte

« pluie d'orage suffisaient pour causer une submer-
« sion complète et la destruction des récoltes.

« Aussi des réclamations pressantes attestaient-
« elles chaque année les progrès du mal et la néces-
« sité d'y porter un prompt remède.

« La navigation elle-même, dans l'intérêt de la-
« quelle avait eu lieu autrefois le changement du ré-
« gime des eaux, était devenue difficile et précaire.

« L'exhaussement des digues sur une base de lar-
« geur invariable avait atteint ses dernières limites;
« des envasements nombreux, auxquels on ne pou-
« vait plus remédier par la surélévation des niveaux,
« venaient apporter chaque année de nouveaux
« obstacles et causer de nouveaux retards. »

Tel est le triste tableau des effets produits dans la vallée de la Scarpe par l'endiguement de cette rivière. Et, qu'on le remarque bien, tous les symptômes que nous observons de nos jours s'étaient déjà montrés à cette époque, comme pour nous avertir de l'identité des conséquences que nous serions obligés de subir, par suite de l'identité dans les travaux. Ainsi, insuffisance du lit réservé à la rivière entre les digues, filtration des eaux à travers celles-ci, nécessité de relever de plus en plus leur couronnement, et, malgré cette dernière précaution poussée jusqu'à ses limites les plus extrêmes, envahissement des eaux, enlèvement des récoltes, destruction même de cette navigation en faveur de laquelle on croyait avoir si bien opéré.

On dira peut-être que c'est par suite de la négligence qui a été mise à entretenir les travaux que ces

fâcheux accidents ont été produits ; mais, répondrons-nous, est-il sage, dans nos entreprises, de n'avoir égard qu'à nos qualités et de ne pas faire la part des défauts inhérents à la nature humaine ? Est-il certain que cette négligence des temps passés ne se reproduira pas à l'avenir ? Quelle est la nation qui, à certaines époques de son existence, n'est pas tenue de compter avec les crises financières ? Quel est le pays assez heureux pour vivre dans une continuelle prospérité et ne jamais voir sur son horizon les nuages des mauvais jours ? L'histoire est là pour répondre à toutes ces questions. Or, dans le système des digues longitudinales, et ce n'est pas là un de ses moindres inconvénients, les exigences de l'entretien sont impérieuses au plus haut degré. Il n'est pas un oubli, pas une négligence qui ne puisse coûter fort cher, parce que les forces contre lesquelles on a à lutter sont triplement menaçantes par leur puissance et leur vitesse, par leur étendue, par l'imprévu de leurs irruptions.

Mais les désastres qui se sont produits sur les bords de la Scarpe ne sont rien auprès de ceux qui, au commencement du quinzième siècle, sont venus fondre sur les provinces néerlandaises, après la rupture des digues du Waal et de la Meuse. Écoutons le récit de ces faits, présenté par M. l'ingénieur Jules Lacroix [1].

« C'est à la fin du treizième siècle que les habi-
« tants des rives des fleuves commencent à s'orga-
« niser en syndicats ou directions, pour établir et

[1] *Annales des ponts et chaussées*, année 1846, 2me semestre, p. 206 et suiv.

« maintenir tout le long des cours d'eau des digues « insubmersibles.

« Ce travail immense est exécuté avec une rapidité « merveilleuse pour l'époque : ainsi les directions « de Betuwe construisent leurs digues de 1225 à « 1290, le Delftland et le Schieland vers 1273, l'Al- « blasser-Waard vers 1277, le Wif-heerem-Landen « vers 1284, et le Zuid-hollandsche-Waard vers 1300.

« A la fin du quatorzième siècle tout était ter- « miné, et on avait construit plus de 700 kilomètres « de levées en terre insubmersibles, dont une partie « était défendue au pied par des fascinages.

« A la suite de ces travaux il se fait une révolution « brusque et complète dans le régime des fleuves et « dans l'existence des territoires riverains.

« Les inondations, qui avaient jusqu'alors débordé « librement et couvert de leurs eaux limoneuses et « fertiles de grandes étendues de terrains, devien- « nent hautes et terribles dès qu'elles sont limitées « par des digues; et quand elles parviennent à en « rompre quelqu'une, elles s'élancent comme la « foudre par cette brèche, et creusent, en tombant « sur les terres voisines, des gouffres de vingt et trente « mètres de profondeur; une grande partie de leurs « troubles se dépose dans le lit même des fleuves et « en exhausse le fond par des atterrissements con- « sidérables en amont et en aval des points dont « les sections rétrécies sont des minima.

« Les territoires riverains, jusqu'alors vivifiés par « les eaux et exhaussés par les limons des fleuves, « dès qu'ils sont soustraits à leur influence et isolés

« par des digues insubmersibles, s'affaissent sur eux-
« mêmes comme une éponge imbibée d'eau qui se
« dessèche peu à peu; cet affaissement est d'autant
« plus sensible que leur nature est plus tourbeuse.
« Dès le quinzième siècle ils ne peuvent plus écou-
« ler librement leurs eaux pluviales : c'est alors
« qu'apparaissent les premiers moulins employés à
« ce service. Il faut aujourd'hui deux étages de ces
« moulins pour régler les eaux dans la plupart des
« polders primitifs du Schieland et du Delftland :
« on a calculé que le niveau de leur sol avait baissé
« de plus de deux mètres depuis quatre siècles.

« Dans la nuit du 18 novembre 1421, le Vaal
« rompt ses digues entre Gorcum et Dordrecht, sur
« près de 1,000 mètres de longueur, se jette sur la
« Meuse et l'entraîne avec lui dans le Hollands-Diep.
« La rupture des digues de la Meuse eut lieu du côté
« de la mer, vis-à-vis le Moerdick actuel. Cette inon-
« dation terrible engloutit soixante-douze villages,
« noya cent mille hommes, et détruisit de fond en
« comble la plus grande partie du Zuid-hollandsche-
« Waard.

« La rupture des digues, en donnant au Waal une
« plus grande embouchure, augmente la quantité
« de ses eaux, au grand péril des contrées riveraines
« et aux dépens du Rhin, du Leck et de l'Yssel, qui,
« dès le dix-septième siècle, deviennent tout à fait
« impraticables, et menacent de disparaître complé-
« tement si on ne vient à leur secours.

« C'est vers cette époque que l'esprit public com-
« mence enfin à se préoccuper de grands ouvrages

« hydrauliques ayant pour but, non plus de con-
« quérir par des digues des terres à l'agriculture,
« mais de rétablir un juste équilibre entre les dif-
« férents fleuves qui parcourent le territoire, d'a-
« méliorer leur navigation, et d'assurer l'écoulement
« des grandes eaux, en leur rendant l'accès d'une
« partie des terrains qui leur avaient été si impru-
« demment enlevés. »

Le lecteur comprendra, nous l'espérons, les motifs de l'insistance que nous mettons à entrer dans tous les détails qui se rapportent au système d'endiguement longitudinal. Lorsqu'on réfléchit que, depuis quelques années, on a donné, pour ainsi dire, tête baissée dans ce système, lorsqu'on est témoin des effrayantes calamités qu'il engendre, lorsqu'on est convaincu, comme nous le sommes, que tous ces désastres ne sont pas des accidents passagers et faciles à conjurer, qu'ils sont au contraire les conséquences les plus certaines, les plus inévitables de ce système, qu'ils lui sont inhérents, comme la lumière est inhérente au soleil, n'était-il pas nécessaire de prouver que ce n'est pas seulement de nos jours que les choses se passent ainsi, que, dans les siècles qui nous ont précédés, les mêmes causes ont invariablement engendré les mêmes effets, que toujours l'endiguement longitudinal a produit plus de ruines que de bienfaits? N'était-il pas nécessaire d'apprendre à ceux qui l'ignorent que, dans une nuit de terrible mémoire, la rupture d'une digue a suffi pour engloutir soixante-douze villages, pour détruire de fond en comble d'immenses étendues de terrain,

pour noyer cent mille victimes? Ceci n'est plus une leçon de théorie, c'est de l'histoire, c'est de la réalité avec tout ce qu'elles peuvent avoir de plus éloquent.

Si donc nous nous adressons à l'expérience du passé, elle nous apprend, comme celle de nos jours, que la parfaite consolidation des digues paraît être une chose impossible. S'il en est ainsi, les plus fâcheuses éventualités subsisteront donc toujours, et non-seulement le mal ne sera pas évité, mais il pourra être à l'avenir, comme il a été autrefois, comme il vient d'être hier, considérablement aggravé, parce que les envahissements d'eau consécutifs aux ruptures des digues sont incomparablement plus désastreux que ceux qui sont produits par un fleuve débordant librement, sans entraves, par voie continue, mais lente, sans chute torrentielle, sans cette violence dévastatrice qui caractérise une irruption instantanée.

L'insubmersibilité des digues n'a pas été mieux obtenue que leur consolidation.

Quant à l'insubmersibilité des digues, elle n'est pas plus certaine que leur résistance, parce que la conséquence la plus immédiate du fait même de leur établissement est, pour une crue donnée, d'augmenter dans l'avenir les hauteurs qu'elle prenait précédemment.

C'est avec beaucoup de raison que l'ingénieur en chef Boulangé, dans le Mémoire déjà cité, présente à ce sujet les observations suivantes :

« Les solutions proposées, surtout lorsqu'elles

« consistent en digues insubmersibles, ne convien-
« nent que pour des hauteurs d'eau déterminées, et
« cependant il est dans la nature des choses que ces
« hauteurs varient d'une manière imprévue par le
« concours de toutes les circonstances qui occasion-
« nent les crues extraordinaires.

« Il en résulte très-souvent que, dans ces crues,
« les digues, qu'on croyait insubmersibles, sont sub-
« mergées, et que les eaux occasionnent alors beau-
« coup plus de dommages que si elles avaient pu
« s'étendre naturellement dans le fond des vallées. »

Peut-être, depuis les calamités de 1856, les idées sur l'efficacité de l'endiguement longitudinal se seront-elles modifiées; mais à la veille même des inondations, elles suivaient leur ancien cours, et on ne supposait même pas qu'on pût faire autre chose contre les crues que de les retenir prisonnières entre deux levées supposées insubmersibles.

« On construit beaucoup de digues nouvelles, dit
« M. Dausse, on en entretient, on en relève d'an-
« ciennes plus étendues encore, le tout, comme on
« sait, à grands frais pour l'État et pour les rive-
« rains; mais après avoir plus ou moins longtemps
« de la sorte préservé nos vallées et nos villes, voici
« que des crues de plus en plus hautes surpassent
« toutes les digues prétendues *insubmersibles*, et
« commettent, en proportion même de leur hauteur,
« de plus terribles ravages.

« Non-seulement nul ne proteste contre la quali-
« fication qui vient d'être rappelée, mais de vastes
« projets, récemment adoptés, s'exécutent sous nos

« yeux, suivant ce système de plus en plus domi-
« nant.

« Et aujourd'hui encore, en refaisant à la hâte les « digues emportées, ne va-t-on pas, sur ces points et « partout ailleurs, les relever de nouveau de quelques « pieds de plus, et peut-être, au demeurant, après « bien des discussions, en rester là ?

« Le moment n'est-il pas venu de montrer que le « système des digues insubmersibles est illusoire, « ruineux et funeste ?

« Et d'abord, avant d'aller si loin, d'urgence en « urgence, dans le malheureux système de l'endigue-« ment excessif des rivières, ne devrait-on pas se de-« mander s'il y a une limite assignable à leurs plus « grandes crues ? question première et capitale, « presque puérile à force d'être naturelle, et que « pourtant je puis dire en toute sincérité n'avoir ja-« mais vu poser par personne. »

On peut juger, d'après ces observations, combien, dans notre pays, au moment où les inondations de 1856 sont survenues, nous étions entraînés à grands pas vers l'extension du système d'endiguement longitudinal. Et, chose remarquable, comme l'indique avec juste raison M. Dausse, personne ne semble s'être adressé cette question, base fondamentale de ce système: Sommes-nous aujourd'hui en état d'assigner une limite aux plus grandes crues? Pouvons-nous répondre que des levées portées à une certaine hauteur ne seront jamais surmontées?

Or, il ne faut pas se faire illusion à cet égard, le peu de bien qu'on peut attendre de ce système ne

sera effectivement réalisé qu'à la condition que la complète insubmersibilité des digues sera obtenue. Tandis que lorsque les eaux d'inondation s'épanchent librement, un peu plus ou un peu moins de hauteur dans la tranche débordée est à peu près insignifiante; il n'en est plus de même à beaucoup près avec des digues longitudinales. L'empressement avec lequel, dans les moments de danger, les populations élèvent des bourrelets sur le couronnement des levées, ne prouve que trop cette vérité. Personne n'ignore qu'alors une surélévation de quelques centimètres est suffisante pour devenir la cause déterminante de la rupture de ces ouvrages protecteurs et des plus ruineuses dévastations.

Il serait facile, en remontant aux siècles précédents, de faire voir combien la hauteur des inondations peut devenir supérieure à celles que nous observons de nos jours, et de montrer par conséquent combien nous sommes loin d'avoir donné à l'endiguement longitudinal tout le degré d'utilité qu'il exigerait. Mais sans avoir recours à ces anciennes époques, nous sommes aujourd'hui en possession de faits récents qui sont trop importants pour être passés sous silence, et qui pourront donner une idée de tout le travail qu'il faudrait entreprendre, indépendamment de celui déjà exécuté, si, persistant à conserver le système exclusif des digues longitudinales, l'administration essayait de rendre ce système efficace dans tous les cas.

Difficultés d'assigner une limite à la hauteur des crues et par conséquent à celle des digues.

Il n'est que trop bien démontré à tout le monde que les digues actuelles ont été impuissantes à conjurer les effets de la crue qui vient d'avoir lieu. Il faudrait donc, même pour cette crue, ou les porter à une distance du fleuve plus éloignée que la distance actuelle, c'est-à-dire renoncer à peu près à la totalité des ouvrages exécutés jusqu'à ce jour, ou, si l'on veut, les maintenir en place, les exhausser.

Supposons ces mesures prises et convenablement exécutées, sera-t-on pour cela à l'abri? Oui, si la crue actuelle a atteint l'importance des crues maxima; non, si des crues plus intenses et plus redoutables encore peuvent survenir.

Or, cette dernière supposition n'a malheureusement rien que de très-admissible, et nous allons en donner la preuve.

En effet, l'inondation actuelle a été produite, à partir du bec d'Allier, par les eaux réunies de la Loire et de l'Allier, augmentées ensuite, dans les parties inférieures du fleuve, par ses affluents successifs.

Dans quelle mesure le cours d'eau principal, la Loire, a-t-il participé à cette crue? Cette mesure est donnée par une hauteur de $4^m,85$ au-dessus de l'étiage, observée au pont de Roanne; c'est le niveau le plus élevé qu'aient atteint les eaux en 1856. Or, la crue de 1846, dont nous avons déjà entretenu le lecteur, est montée au même point à la cote $7^m,42$, et a par conséquent dépassé celle de cette année de $2^m,57$.

On peut juger, d'après ces chiffres, de combien il s'en est fallu que dans la haute Loire la crue actuelle du fleuve ait atteint celle de 1846. Qu'on substitue donc par la pensée à la cote 4^{m},85 les diverses hauteurs comprises entre cette cote et celle de 7^{m},42, et on aura une idée de tout ce qui aurait pu s'ajouter, à partir du bec d'Allier, au volume déjà si considérable que roulait le courant principal, et du grand développement qu'il faudrait donner au système actuel des défenses pour le mettre en rapport avec les intensités des effets contre lesquels il est appelé à protéger le pays.

On sera donc inévitablement conduit, à l'avenir, si on ne veut pas déplacer les digues et renoncer aux travaux antérieurs, à les exhausser de plus en plus, à relever les ponts et les murs de quai, et comme avec tout cela on n'empêchera pas les eaux d'entrer dans les villes, sinon d'une manière violente, du moins par les nombreux émissaires qui les font communiquer avec le fleuve; comme l'endiguement, poussé à ses dernières limites, élèvera le niveau des inondations à des hauteurs inconnues jusqu'à ce jour, on arrivera à ce résultat que les étages inférieurs des maisons seront incessamment exposés à être envahis par les eaux; que, sous peine de subir des pertes fréquentes, il faudra à peu près renoncer à leur usage; et qu'on aura ainsi porté une grave et funeste atteinte au mode de jouissance des propriétés bâties dans les villes.

Nous ne revenons pas d'ailleurs sur l'éventualité toujours menaçante de la rupture des digues, éven-

tualité d'autant plus effrayante dans ses effets, que les digues auront été plus relevées. Nous croyons en avoir assez dit dans ce qui précède pour faire comprendre à quelles épouvantables catastrophes on serait exposé à la suite d'une telle rupture. Or, il ne faut pas perdre de vue que des accidents de cette nature se sont déjà produits en grand nombre à chaque forte crue, de sorte qu'il y a dans les faits du passé la plus terrible des menaces pour l'avenir. Puissions-nous y trouver d'utiles enseignements !

Pourquoi on n'a pu construire des digues solides, et énormité des dépenses qu'il faudrait faire pour les obtenir telles.

L'exposé qu'on vient de lire nous paraît de nature à faire comprendre, soit au point de vue théorique, soit à celui de l'expérience, tout ce qu'il y a de vicieux dans la conception du système d'endiguement longitudinal, tout ce qu'il y a de dangereux dans son mode d'action contre les crues. Sans parler de la perte de tous les avantages énumérés dans le chapitre troisième, ce système a eu jusqu'à ce jour le grave inconvénient d'établir des digues dans des conditions telles que, d'une part, elles sont infailliblement surmontées à toutes les grandes crues ; que, d'autre part, elles sont insuffisantes pour résister aux puissantes causes de destruction qui agissent contre elles. Mais ne pourrait-on pas espérer de faire disparaître ces inconvénients et de retirer ainsi de ce système le peu de bien qu'il est susceptible de produire ? Certes, nous ne disons pas qu'il est absolument impossible de construire des digues capables de résister à l'action

des fleuves, et de leur donner, ou un écartement, ou une hauteur tels qu'elles puissent contenir les eaux d'inondation, sans que leur couronnement soit atteint. Les divers procédés de construction sont assez améliorés aujourd'hui pour qu'on puisse considérer ce problème comme scientifiquement résolu. Mais, pour peu qu'on entre dans la discussion des moyens propres à obtenir ces résultats, on se trouve en présence d'un chiffre de dépense tellement énorme, qu'il devient l'équivalent d'une véritable impossibilité pratique. Pour s'en faire une idée sommaire, il suffit de considérer que la seule partie navigable de trois de nos grands fleuves a, dans certaines parties de leurs cours, les longueurs suivantes :

Pour la Loire, entre Digoin et la mer. . .	657 kilom.
Pour le Rhône, entre Lyon et la mer. . .	342
Pour la Garonne, entre Toulouse et la mer.	389
Ce qui donne un total de.	1,388 kilom.

Nombre qu'il faut doubler pour les deux rives. Or, si on met en regard de cet immense développement les dépenses déjà si considérables qui ont été faites pour construire de nouveaux ouvrages, le plus souvent en simples terrassements, non pas sur la totalité, mais sur une partie seulement de cette étendue, on se fera une idée de l'importance des sommes qu'il faudrait consacrer à l'exécution complète de l'endiguement longitudinal sur tous nos fleuves, avec des conditions nouvelles, autrement compliquées que celles du passé, soit au point de vue de l'ampleur à

donner aux ouvrages, soit à celui du degré de stabilité dont il conviendrait de les doter.

« Le système de l'endiguement longitudinal, pour « le Rhône seulement, coûterait plus de 100 mil- « lions et serait inefficace[1]. »

Sans entrer ici dans le détail de toutes les causes qui ont contribué à rendre si peu efficaces les travaux entrepris jusqu'à ce jour, il est nécessaire de procéder à quelques recherches sur les principales. En prenant connaissance du résultat de ce travail, on pourra se convaincre, non-seulement que ce que nous venons de dire sur le chiffre élevé des dépenses ne présente rien d'exagéré, mais encore que des difficultés matérielles de premier ordre viendraient étrangement compliquer la question.

En effet, il n'a guère été possible jusqu'à présent, et notamment sur la Loire, de construire le corps des digues autrement qu'en terres très-sableuses; avec une telle substance et eu égard au relief élevé du massif qu'elles forment, ces digues sont excessivement perméables, en même temps qu'elles s'égouttent avec une très-grande facilité. A peine commencent-elles à être atteintes par les eaux, que le liquide y passe comme à travers un crible; cette action va sans cesse en augmentant, soit en nombre, soit en volume, à mesure que la crue s'élève, et de là résulte une première cause très-efficace de destruction.

Or, comment substituer aux terres sableuses des substances plus compactes ? Faudra-t-il les chercher

[1] Lettre de S. M. l'Empereur Napoléon III au ministre des travaux publics.

au loin, et doubler ou tripler les dépenses? D'ailleurs, si les terres végétales ou argileuses se laissent plus difficilement traverser par les eaux, elles sont exposées à un autre inconvénient qui, pour être petit dans sa cause, n'en est pas moins redoutable dans ses effets. L'expérience prouve que des digues ainsi construites sont incessamment sillonnées de canaux ouverts par les animaux à marche et à habitation souterraines, comme plusieurs espèces de rats et surtout les taupes. Le mieux peut-être serait d'employer, comme on l'a fait sur le Rhin, le gravier mélangé de gros et de petits grains avec de bons revêtements; mais il s'en faut qu'on en ait partout à sa disposition.

A cette première cause de la destruction des digues, à cette première difficulté résultant de la nature même des matériaux employés pour les construire, s'en joint une seconde qu'il faut attribuer à des dispositions vicieuses introduites dans l'exécution des ouvrages. Il a été longtemps posé en principe, et nous ne savons en vérité sur quel motif rationnel on a pu s'appuyer pour prescrire une telle mesure, que les digues longitudinales devaient présenter de nombreuses sinuosités. Or, qu'a-t-on fait en opérant ainsi? On a exposé ces digues à supporter, non-seulement les pressions hydrostatiques résultant de l'exhaussement des eaux, mais encore les chocs dynamiques produits par les vitesses du courant venant frapper leurs parois suivant un angle plus ou moins offensif. On conçoit en effet que lorsque des levées sont alignées parallèlement au cours de l'eau, elles ne sont que légèrement frottées par les filets fluides qui sont en

contact avec elles; lorsqu'au contraire ce parallélisme n'existe pas et que les parois présentent un angle oblique avec les directions de la vitesse, les forces vives dont celle-ci anime les masses fluides viennent heurter violemment les obstacles qui les arrêtent et en provoquent la destruction, avant même que l'inondation se soit élevée jusqu'au couronnement de ces ouvrages.

N'oublions pas d'ajouter une très-fâcheuse circonstance inhérente à la forme même des digues, c'est que leur épaisseur, et par conséquent leur résistance à une force d'impulsion, diminue avec la hauteur, tandis que les puissances qui les détruisent s'exercent avec d'autant plus d'énergie que cette hauteur est plus considérable.

Or, comment lutter avec efficacité contre de pareils effets ? Avec des fascinages, des pilotis, des palplanches, des enrochements, c'est-à-dire, avec une prodigieuse augmentation dans les dépenses.

Les rétrécissements dans l'espacement des digues sont une première cause de leur submersibilité.

Si de ces considérations relatives à la résistance des digues, nous passons à celles qui concernent leur insubmersibilité, nous nous trouverons encore en présence des plus grandes difficultés.

C'est un fait malheureusement trop vrai, que fort souvent l'espacement des digues entre elles n'est nullement en rapport avec la quantité de liquide que devrait débiter leur section à l'époque des inondations. Tous les ingénieurs qui se sont occupés de tra-

vaux entrepris pour l'amélioration des rivières ont eu occasion de constater cette vérité : « Il existe dans « la vallée de la Garonne, dit M. Baumgarten, une « multitude de digues qui n'ont aucun ensemble, « qui souvent se nuisent mutuellement et dont la « forme et la direction n'ont de rapport qu'avec la « division des propriétés. » Au sujet des digues du Rhin, M. l'inspecteur général Défontaines nous apprend qu'on trouve, dans certaines localités, que les digues laissent entre elles, d'une rive à l'autre, une distance de 3,800 mètres; dans d'autres, cette distance n'est plus que de 1,500 mètres; enfin, en certaines parties, elle se réduit à 400. Est-il possible, je le demande, d'espérer que, même en admettant une grande latitude dans les variations des pentes, un régime régulier puisse s'établir sous l'influence de si énormes variations, et des étranglements de 400 mètres ne doivent-ils pas provoquer un regonflement extraordinaire des eaux ?

Certes nous sommes loin, en citant ces faits, d'en faire l'objet d'un reproche contre qui que ce soit; nous n'ignorons pas que, dans les temps qui nous ont précédés, les idées d'ensemble n'ont pas présidé à l'établissement des ouvrages de défense ; que chacun a agi pour soi, et que ce qui existe de nos jours n'est pas le résultat d'un système général dans lequel les ingénieurs auraient été libres de choisir les combinaisons les plus convenables. Mais, quoi qu'il en soit des causes qui ont produit l'état actuel, ce n'est pas avec ce qui aurait dû être, mais avec ce qui est que nous avons à compter aujourd'hui; il s'agit moins de

savoir que les difficultés auraient pu être évitées que de reconnaître qu'elles existent, et qu'elles introduisent dans la question les plus sérieuses complications.

La divergence bien constatée entre les appréciations théoriques et la réalité des faits est une seconde cause de la submersibilité des digues.

D'ailleurs il ne faut pas se dissimuler que, quoique fort simple en apparence, le problème qui consiste à déterminer l'étendue de la section nécessaire pour faire passer un volume d'eau donné est peu susceptible, en l'état actuel de nos connaissance hydrauliques, de recevoir des solutions marquées au coin d'une grande certitude. Certes, il n'est pas permis d'admettre que les ingénieurs qui, de notre temps, ont eu à s'occuper de conduire et de maintenir une partie quelconque des eaux d'un fleuve entre deux levées insubmersibles, ont négligé de faire l'application des formules ordinairement employées en pareil cas; mais ces formules sont-elles à l'abri de toute contestation ? Peuvent-elles être indistinctement appliquées à toutes les circonstances de l'écoulement des liquides ? C'est un point sur lequel le doute n'est que trop légitime.

Il convient d'abord de remarquer qu'au point de vue purement spéculatif les théories hydrauliques conduisent toujours, soit pour les débits, soit pour les vitesses, à des résultats très-exagérés et que, pour les faire concorder avec la réalité des faits, on est obligé d'introduire dans ces résultats des coefficients

de réduction. Or, la valeur de ces coefficients a été généralement déduite d'expériences dans lesquelles les écoulements ont fonctionné avec des vitesses assez modérées et surtout avec des sections qui ne sont aucunement comparables à celles de nos fleuves, soit pour l'étendue, soit pour les détails relatifs à la forme naturelle et si variée des périmètres mouillés. Dès lors il n'y aurait rien de surprenant à ce que des formules ainsi constituées cessassent d'être la véritable expression de ce qui se passe dans les cours d'eau naturels, surtout aux époques d'inondations. Nous sommes, pour notre part, fortement porté à admettre que, pour le cas de ces grands écoulements de nos fleuves, les coefficients admis ne réduisent pas dans une assez grande proportion les résultats théoriques, et que notamment les vitesses indiquées par les formules sont toujours supérieures aux vitesses réelles. Si nous sommes conduit à émettre cette opinion, c'est que, dans les expériences entreprises dans le but d'éclairer cette partie si importante de l'hydraulique pratique, les surfaces présentées par les parois des canaux factices dont on a fait usage n'ont jamais eu, soit dans le sens longitudinal, soit dans le sens transversal, les transitions assez brusques de la forme concave à la forme convexe, qui se présente si souvent dans la nature et qui sont une cause si efficace de pertes de forces vives. S'il en est réellement ainsi, il est très-probable qu'en cherchant à déterminer l'étendue de la section nécessaire pour un débit donné, on aura toujours spéculé sur une vitesse moyenne supérieure à celle qui a réellement lieu, et de là auront

pu résulter de graves mécomptes sur la distance à laquelle les digues devaient être placées l'une de l'autre; de là aussi le relèvement en hauteur de tranches d'eau occupant des sections limitées dans le sens horizontal par une largeur trop petite; de là enfin ces déversements de liquide en dehors des prévisions les plus logiques en apparence, et se manifestant bien longtemps avant le terme fixé par les aperçus théoriques.

Justifications déduites des travaux exécutés dans la Meuse.

Ces considérations touchent, comme on voit, au cœur de la question, et elles rendraient parfaitement compte, si elles sont aussi fondées en fait qu'elles paraissent l'être en principe, des erreurs généralement et involontairement commises sur les déterminations relatives à l'espacement des digues. Or, il existe en France une catégorie d'ouvrages, exécutés à titre d'essai pour rétrécir certains lits d'étiage, sur laquelle l'attention de l'administration s'est portée avec intérêt à plusieurs reprises, dont les conséquences ont fait l'objet d'études toutes spéciales et qui est très-propre à justifier les doutes et à confirmer l'opinion que nous venons d'émettre. Nous voulons parler des travaux entrepris sur le cours de la Meuse, dans le but de donner un tirant d'eau suffisant aux bateaux pendant les sécheresses, dans la traversée de quelques gués. Nous n'avons pas ici à nous occuper des détails de ces ouvrages, mais nous parlerons des vitesses réelles qu'ils ont produites dans les courants; leurs comparaisons avec les vitesses théoriques déduites des formules

nous paraissent contenir des enseignements d'un haut intérêt dans la question qui nous occupe.

Quatre chenals artificiels ont été l'objet d'expérimentations particulières, dont les résultats ont été constatés dans un rapport de M. l'ingénieur en chef Thirion : ce sont les chenals de Fepin, de l'île Saint-Louis, de Dom-le-Menil, du Pontcy; voici ce que contient ce rapport au sujet des vitesses observées dans chacun de ces chenals[1].

« 1° *Chenal de Fepin.* — La vitesse superficielle, à « Fepin, mesurée au milieu du courant à l'époque du « plus bas étiage, a été trouvée de $1^{m},10$, ce qui ré« pond à une vitesse moyenne de $0^{m},90$. Dans l'inter« valle où ces observations de vitesse ont été faites, « la section moyenne du profil transversal est « de $29^{m.q},77$, le périmètre mouillé de $30^{m},20$, par « conséquent le rayon moyen de $0^{m},986$. En faisant « le produit du rayon moyen par la pente par « mètre $0^{m},000666$, et cherchant par la formule de « Prony, corrigée d'après les expériences d'Eytel« wein, la vitesse moyenne correspondante, on « trouve $1^{m},30$ par seconde, c'est-à-dire presque « moitié en sus de la vitesse réelle.

« 2° *Chenal de l'île Saint-Louis.* — En ce qui con« cerne la vitesse du courant, le chenal se divise en « deux parties correspondant à deux pentes différen« tes; dans la première partie, la vitesse superficielle, « à l'époque du plus bas étiage, a été trouvée de $1^{m},02$,

[1] *Annales des ponts et chaussées*, année 1841, 1er semestre, p. 352 et suiv.

« ce qui correspond à une vitesse moyenne de 0m,83. « Dans le même intervalle, le produit du rayon « moyen par la pente de la surface étant égal à « 0m,0005498, la vitesse moyenne théorique donnée « par les tables est de 1m,19. Dans la deuxième partie, « la vitesse observée à la superficie est de 1m,33, ce « qui fait 1m,10 de vitesse moyenne ; le produit du « rayon moyen par la pente de surface étant dans cet « espace égal à 0m,000964, les tables donnent pour la « vitesse moyenne correspondante 1m,59. On voit « qu'ici, comme à Fepin, la vitesse réelle est à peine « supérieure aux deux tiers de la vitesse donnée par « la formule du mouvement uniforme.

« 3° *Chenal de Dom-le-Menil.* — La vitesse super- « ficielle s'élève, pendant l'étiage, à 1m,25 par seconde, « ce qui correspond à une vitesse moyenne de 1m,03. « En faisant le produit du rayon moyen par la pente « observée à la surface, et cherchant dans les tables « la vitesse théorique correspondante, on trouve « 1m,255.

« 4° *Chenal du Pontcy.* — La vitesse superficielle « au milieu du courant, à l'époque du plus bas étiage, « est de 0m,87, ce qui correspond à une vitesse « moyenne de 0m,70. En faisant le produit du rayon « par la pente observée à la surface et cherchant « dans les tables la vitesse théorique correspon- « dante, on trouve 0m,85 ; c'est-à-dire, comme au che- « nal de Dom-le-Menil, environ un quart de plus « que la vitesse réelle. »

En récapitulant ces divers résultats, nous formons le tableau suivant :

DÉSIGNATION DES CHENALS.	VITESSES MOYENNES		RAPPORTS.
	RÉELLE.	THÉORIQUE.	
Fepin.	0m,90	1m,30	0m,692
Ile St-Louis 1re partie. .	0 ,83	1 ,19	0 ,697
Ile St-Louis 2e partie. .	1 ,10	1 ,59	0 ,692
Dom-le-Ménil.	1 ,03	1 ,25	0 ,821
Pontcy.	0 ,70	0 ,85	0 ,819

Ainsi le rapport de la vitesse réelle à la vitesse théorique a varié de 0m,692 à 0m,821, ou plus simplement de 2/3 à 4/5.

Il importe d'ailleurs de noter que ce que M. Thirion appelle la vitesse réelle n'est pas le résultat d'opérations directes faites pour déterminer cette vitesse dans les différentes couches du courant et aux divers points de ces couches. La seule chose réelle qu'il y ait ici, c'est la vitesse maxima du fil de l'eau à la surface; c'est celle qui a été réellement mesurée et qui est désignée par la lettre V dans la formule de Prony: $U = V\dfrac{V + 2,37187}{V + 3,15312}$; c'est à l'aide de cette formule que M. Thirion a calculé la valeur U de la vitesse moyenne, qu'il considère comme réelle. Or, nous ferons voir dans ce qui va suivre que cette formule donne à son tour des résultats trop forts; de sorte que la vitesse déduite de la relation théorique, dans laquelle entrent le rayon moyen et la pente à la surface, est plus grande que celle déduite de la formule ci-dessus qui lie U à V, laquelle, de son côté, est aussi plus grande que la vitesse moyenne réelle. Ainsi, entre les divers

degrés de la théorie et la réalité, on passe par des variations successives dont les proportions cumulées finissent par atteindre des valeurs telles qu'il n'est pas permis, sous peine de commettre les plus graves erreurs, de n'en pas tenir compte dans la pratique.

Dans les circonstances semblables à celles que M. Thirion a décrites dans son rapport, de pareilles différences sont plutôt avantageuses que nuisibles, puisque le but qu'on s'est proposé d'atteindre a été de donner aux bateaux un bon tirant d'eau, et que plus la vitesse réelle a été faible, plus la hauteur de la tranche liquide contenue dans les chenals a augmenté. Mais lorsqu'on veut atteindre un résultat tout différent, lorsque, comme dans le problème des inondations, on veut que certains niveaux ne soient pas dépassés, lorsqu'il est si important qu'ils ne le soient pas, cette diminution de la vitesse réelle, comparativement à celle donnée par les formules, constitue une erreur vraiment fatale, à laquelle on peut attribuer, en majeure partie, et surtout dans les digues longitudinales, les désastres des inondations.

Opinion de la Commission des *Annales des ponts et chaussées* sur ce sujet.

Nous n'ignorons pas que quelques ingénieurs ont fait de prudentes réserves au sujet de la légitimité des applications à la pratique des formules relatives au mouvement des eaux courantes; mais il est d'autant plus permis d'admettre que dans un grand nombre de cas on n'en a pas tenu compte, que ces réserves ont été l'objet de quelques essais de contra-

diction de la part d'hommes faisant autorité en cette matière, ce qui a jeté beaucoup d'irrésolution dans les esprits. Cependant les motifs sur lesquels s'appuient les doutes émis nous paraissent avoir une grande puissance, et cette partie du débat a trop d'importance dans le sujet que nous traitons pour que nous n'en fassions pas ici l'exposition.

A la suite d'un article sur l'hydraulique des cours d'eau, qui renferme d'ailleurs des observations d'un haut mérite sur lesquelles nous aurons à insister, le secrétariat des *Annales des ponts et chaussées* a cru devoir apporter le correctif suivant à quelques conclusions trop affirmatives de l'auteur [1].

« La formule du mouvement uniforme des eaux « courantes étant fondée sur une loi dont l'expres- « sion n'a été vérifiée qu'approximativement, et « entre certaines limites, par l'expérience, ce n'est « qu'avec beaucoup de réserve qu'on peut en faire « usage dans les cas qui sortent de ces limites. Lors- « que M. de Prony a proposé cette formule, les ob- « servations dont il s'est servi présentaient généra- « lement des vitesses modérées; la plus grande était « de $0^m,88$, et les valeurs qu'il a calculées comme les « plus convenables pour l'équation, $RI = aU + bU^2$, « ont été : $a = 0,00004445$ et $b = 0,0003093$.

« Plus tard, M. Eytelwein, employant un plus « grand nombre d'expériences, parmi lesquelles il « s'en est trouvé où la valeur de la vitesse s'élevait à

[1] *Annales des ponts et chaussées*, année 1848, 1er semestre, p. 149.

« près de $2^m,5$, a donné aux coefficients les valeurs « $a=0,00002427$ et $b=0,0003655$; ce qui, non-seu- « lement fait naître des doutes sur la généralité de la « formule, mais encore permet de présumer que, « pour des vitesses dépassant de beaucoup $2^m,5$, le « coefficient b devrait encore être notablement plus « grand que ne l'a indiqué Eytelwein, c'est-à-dire « que, pour une valeur de RI, l'expérience donnerait « probablement une vitesse bien moindre que la « formule.

« D'autres causes d'anomalie peuvent encore se « présenter dans les grands courants : ainsi, un fond « irrégulier occasionne des tourbillons qui diminuent « la vitesse moyenne ; ainsi, il est probable que des « eaux chargées de sable, comme le sont celles de la « Loire pendant les crues, éprouvent une plus grande « résistance à leur écoulement que si elles étaient « limpides. »

M. l'inspecteur général Dupuit[1], qui a traité avec beaucoup de sagacité l'hydraulique des eaux courantes, entre plus directement encore dans le fond de la question. Après avoir expliqué que, dans son expression générale, la formule de Prony devrait s'appliquer, non à la vitesse moyenne, mais à la vitesse à la paroi, il fait voir que les coefficients qui figurent dans cette formule, au lieu de rester les mêmes pour toutes les sections, ainsi que l'ont admis les auteurs, doivent varier lorsqu'on passe de l'une à l'autre : « On a donc, dit-il, commis une étrange

[1] Études théoriques et pratiques sur le mouvement des eaux courantes.

« confusion en cherchant, comme l'a fait Eytelwein, « à déterminer la valeur de ces coefficients au moyen « d'expériences variées dans lesquelles ils devaient « avoir des valeurs très-différentes. Il suit de là que « la plus grande incertitude règne sur la valeur des « coefficients qu'on emploie, et qu'il ne faut accorder « aux résultats de la formule de Prony qu'une con- « fiance très-limitée. Toute cette partie de l'hydrau- « lique est à refondre sous le rapport expérimental. »

Cette note de la commission des *Annales* et ces observations de M. Dupuit nous paraissent devoir être prises en sérieuse considération par les ingénieurs appelés à s'occuper des crues des rivières; et, si on les rapproche des faits positifs cités par M. Thirion, qui sont, à vrai dire, une confirmation anticipée des méfiances qu'elles expriment, il nous semble difficile que les hésitations puissent persister dans les esprits.

Mais ces considérations ne sont pas les seules que nous ayons à faire valoir pour constater les désaccords qui existent entre les faits naturels et les formules théoriques qu'on considère généralement comme leur vraie expression.

Justification déduite des expériences faites par M. Baumgarten dans le lit de la Garonne.

M. l'ingénieur en chef Baumgarten s'est livré à un long et important travail sur la marche des vitesses dans le lit de la Garonne; il a procédé à ce sujet à des études nombreuses, très-variées, et non-seulement ses observations ont justifié en principe les réserves dont nous nous faisons ici l'écho, mais en-

core elles ont nettement indiqué l'inexactitude d'une seconde formule à l'aide de laquelle on a cherché à établir une relation entre la vitesse du fil de l'eau dans un courant et la vitesse moyenne de ce même courant. Nous nous sommes borné, dans ce qui précède, à faire une simple mention de ce désaccord ; le moment est maintenant venu de justifier l'opinion que nous avons exprimée à ce sujet.

M. Baumgarten, après avoir montré qu'il résulte de ses expériences que la vitesse de l'eau, pour un même état de la rivière, n'est pas permanente ou constante en un même point, qu'elle y oscille dans un temps plus ou moins long entre certaines limites ; après avoir minutieusement étudié cette nature de variations que la vitesse éprouve ; après avoir enfin déterminé, en différents points d'une section transversale, les valeurs des vitesses réelles qu'y prend l'eau, s'est occupé de rechercher la relation qui peut exister entre la vitesse maxima de la surface et la vitesse moyenne.

Voici comment il s'exprime à ce sujet[1] :

« Avec toutes ces observations, il nous a été bien « facile de calculer la vitesse moyenne réelle V_m et de « la comparer avec la vitesse moyenne U calculée par « la formule de Prony $U = V\frac{V+2,37187}{V+3,15312}$ au moyen « de la vitesse maxima V de la surface.

[1] *Annales des ponts et chaussées*, année 1847, 2e semestre, p. 359.

« Voici le résultat de cette comparaison :

NUMÉROS des SECTIONS.	V = VITESSE de SURFACE.	V_m = VITESSE moyenne OBSERVÉE.	U = VITESSE moyenne CALCULÉE.	RAPPORTS de V_m à U
1	2m,100	1m,580	1m,788	0,884
2 ?	0 ,987	0 ,734	0 ,801	0,917 ?
3	1 ,179	0 ,803	0 ,967	0,831
4 ?	1 ,400	0 ,797	1 ,160	0,687 ?
5	1 ,510	0 ,916	1 ,257	0,729
6	1 ,670	1 ,104	1 ,399	0,788
7	1 ,584	1 ,017	1 ,323	0,766
8	1 ,548	1 ,063	1 ,291	0,822
9	1 ,450	1 ,004	1 ,212	0,827
10	1 ,807	1 ,150	1 ,522	0,755
11	2 ,396	1 ,500	2 ,060	0,728
12	1 ,790	1 ,251	1 ,507	0,830
13	2 ,360	1 ,710	2 ,026	0,843
14	1 ,830	1 ,198	1 ,543	0,778
15	2 ,419	1 ,657	2 ,080	0,796
16	2 ,462	1 ,754	2 ,136	0,822
17	2 ,615	1 ,880	2 ,261	0,835
18	2 ,224	1 ,518	1 ,901	0,798
19	2 ,897	2 ,080	2 ,523	0,825
20	2 ,923	2 ,004	2 ,547	0,785
21	3 ,121	2 ,237	2 ,730	0,818
22	2 ,870	1 ,875	2 ,498	0,750
			Moyenne.....	0,800

« On voit que constamment la vitesse moyenne « réelle est plus faible que celle calculée par la for- « mule, que le rapport entre ces deux vitesses est « 0,800 en moyenne, rapport assez constant et va- « riant peu dans ces vingt-deux expériences, si toute- « fois on élimine les nos 2 et 4. Il faut remarquer que « les résultats des calculs de Prony ne sont basés que « sur dix-sept expériences, ou quinze même seule- « ment, dans lesquelles la plus grande vitesse de sur-

« face, ou la plus grande valeur de V, est de $1^m,2994$[1], « tandis qu'ici, sur vingt-deux expériences, vingt « présentent des valeurs supérieures à $1^m,400$. On « devra donc admettre que la formule de Prony soit « corrigée pour les valeurs de V, supérieures à $1^m,300$, « et qu'alors celle

$$U = 0,800\,V\,\frac{V + 2,37187}{V + 3,15312}$$

« représente assez bien la vérité. »

Que résulte-t-il de ces observations et de ces faits ? que toutes les fois que, pour une hauteur déterminée, soit du couronnement des digues, soit des eaux d'inondation qui doivent être contenues entre ces ouvrages, on aura procédé au calcul de la distance à laquelle les levées longitudinales doivent être placées l'une de l'autre, en s'appuyant sur la valeur de la vitesse moyenne déduite de la formule de Prony, et même de celle d'Eytelwein modifiée, on obtiendra nécessairement un résultat trop faible, parce que la vitesse moyenne réelle est sensiblement plus petite que la vitesse calculée. Dès lors la section d'écoulement aura dû être plus grande que celle sur laquelle on avait compté, et comme cette section est limitée dans le sens horizontal par les digues elles-mêmes, son augmentation n'aura pu avoir lieu qu'en hauteur. De là, les regonflements d'eau inattendus ; de là, les déversements du liquide par-dessus les digues ; de là, enfin, nous le répétons, tous ces désastres qui sont venus donner un démenti aux prévisions les mieux justifiées en apparence.

[1] *Recueil des cinq Tables*, p. 59.

Les élargissements de la distance des digues entre elles produisent, comme les rétrécissements, une surélévation d'eau et sont une troisième cause de submersibilité.

Si le sujet que nous traitons en ce moment ne s'élevait pas au plus haut degré d'importance dans la question des inondations, nous aurions à demander pardon au lecteur de la longueur des développements qui précèdent, et nous nous hâterions de mettre ici un terme à cette discussion. Mais lorsqu'un système qu'on regarde généralement comme protecteur, et qui cependant produit tant de ruines, a jeté dans les idées de profondes racines ; lorsqu'on s'est accoutumé à le considérer comme le seul remède susceptible de prévenir d'immenses fléaux ; lorsque ce système est en pleine faveur, qu'il est permis de prévoir qu'on sera d'autant moins disposé à l'abandonner qu'on lui a consacré dans le passé des sommes plus considérables ; lorsqu'enfin on est convaincu, comme nous le sommes, que plus on s'obstinera à le propager, plus grandes et plus terribles seront les calamités qu'il accumulera dans nos vallées, nous pensons que dans de telles circonstances on ne doit pas être arrêté par la crainte d'en trop dire ; nous pensons qu'au lieu de chercher à abréger la discussion, c'est au contraire un devoir de la pousser jusqu'au bout, et qu'entre l'inconvénient de donner quelques détails superflus, ou celui d'en omettre un seul nécessaire, on ne doit pas hésiter. Nous prions donc le lecteur de vouloir bien nous suivre encore quelques instants, d'opposer à ses fatigues un peu de patience, et de nous dédom-

mager des nôtres en continuant à nous accorder sa bienveillante attention.

Les causes ci-dessus énumérées du regonflement des eaux contenues entre deux digues ne sont pas les seules qui puissent agir dans les rivières. Il en est une autre fort remarquable et tout à fait inconnue jusqu'à ces derniers temps, signalée par M. l'ingénieur en chef Vauthier, qui pourra paraître fort singulière au premier abord, mais qui est d'autant plus acceptable que la théorie elle-même la range dans l'ordre des résultats possibles.

« L'une des idées le plus généralement, le plus uni-
« versellement admises à titre d'axiome, dit M. Vau-
« thier, c'est que dans un lit de forme, de dimensions
« et de pentes données et invariables, il n'y a jamais,
« pour un débit constant, aussi déterminé, *qu'un seul*
« *mode d'écoulement*, et par conséquent, pour chaque
« point de la longueur du lit, qu'une certaine lar-
« geur, une certaine profondeur, une certaine pente
« de superficie, et une certaine vitesse moyenne, sui-
« vant lesquelles l'écoulement puisse avoir lieu;
« tandis que nos expériences, ainsi que la formule
« du mouvement permanent, s'accordent pour éta-
« blir que l'écoulement peut avoir lieu *généralement*,
« suivant deux modes très-différents l'un de l'autre,
« par les largeurs, profondeurs, pentes de superficie
« et vitesses moyennes du courant, en un même
« point de la longueur du lit, bien que la forme, les
« dimensions et la pente de celui-ci, ainsi que le dé-
« bit constant du courant, soient identiquement les
« mêmes dans les deux cas.

« Comme les principaux faits constatés par nous « sont de nature à modifier radicalement certaines « idées d'hydraulique théorique et pratique, et qu'ils « peuvent avoir pour effet de faire hésiter devant cer- « taines conclusions trop légèrement énoncées et « admises, et de mettre, dès à présent, sur la voie de « déductions pratiques d'un haut intérêt, dans les « nombreuses et graves questions de ce genre qui sont « actuellement à l'ordre du jour (M. Vauthier écrivait « ceci le lendemain de la fameuse inondation de 1846), « nous avons jugé utile de présenter un aperçu som- « maire des résultats d'une partie de nos expériences « que nous ferons suivre de quelques observations. »

Procédons maintenant à une analyse rapide des observations de M. Vauthier. Cet ingénieur a fait usage d'un canal en bois de 6 mètres de longueur, de $0^m,20$ de largeur, et dont les parois s'élèvent verticalement au-dessus du plafond. (Voir sur la planche la figure nº 1.)

Ce canal présente dans sa partie centrale un évasement symétrique à faces rectilignes, s'étendant sur 2 mètres de longueur, à l'aide duquel la largeur du plafond est portée de *c* en *c'* à $0^m,40$ au lieu de $0^m,20$. A l'aide de planches mobiles *ab*, *a'b'*, on peut à volonté diriger l'eau entre des bords parallèles, ou lui permettre de s'épandre dans toute la longueur de la partie évasée. L'alimentation du canal se fait à l'aide d'une vanne *v*, placée à l'origine d'amont, qui retient ou lâche à volonté l'eau d'un bassin.

Cela posé, voici les faits d'écoulement observés : *Lorsqu'on ouvre la vanne sans précipitation*, soit que

les planches parallèles *ab*, *a'b'* se trouvent en place, soit qu'étant enlevées, l'eau puisse s'épandre dans la partie évasée, on obtient l'écoulement sous la forme manifestée par la courbe inférieure ABCD de la figure n° 2. (Voir sur la planche, figure n° 2.)

Mais si, pendant que l'écoulement a ainsi lieu (les planches *ab*, *a'b'* n'étant pas en place), on introduit momentanément dans la partie étroite du canal, vers l'aval, un corps qui fasse obstacle partiel à l'écoulement, ou ***si l'on fait venir l'eau brusquement*** dans le canal, on obtient toujours invariablement un effet d'écoulement diamétralement opposé au précédent, effet dont l'axe hydraulique est représenté, dans la figure ci-dessus, par la courbe supérieure ABC'D'. Le même effet s'observe encore lorsque, faisant couler l'eau dans le canal dont le parallélisme est régularisé par le placement des deux planches *ab*, *a'b'*, on retire celles-ci pendant que le canal est plein.

Nous ne nous arrêterons pas à donner les explications en vertu desquelles on peut se rendre un compte rationnel de ces deux modes très-variés d'écoulement dans un même canal; en entrant dans ces détails, nous sortirions du cadre de notre sujet. Bornons-nous à accepter les faits ci-dessus comme des résultats d'expériences authentiques, et déduisons-en les conséquences.

Que nous apprennent ces faits? Que, d'une part, lorsque l'introduction de l'eau a été tranquille, la courbe superficielle du courant ne s'écarte de la ligne de pente ponctuée MD que pour descendre assez notablement au-dessous d'elle; d'autre part,

que lorsque l'introduction de l'eau a eu lieu brusquement, ou encore lorsqu'après l'évasement central il se manifeste vers l'aval une diminution partielle de la section, cet évasement devient la cause déterminante d'un regonflement très-prononcé de l'eau, qui, d'après les chiffres donnés par M. Vauthier, peut faire remonter le liquide au-dessus du plafond, à une hauteur double de celle qu'il occupe dans les parties étroites et parallèles soit de l'amont, soit de l'aval.

Or, pendant les crues, ces deux conditions sont simultanément réalisées dans les rivières où le système d'endiguement longitudinal est établi. En effet, l'eau n'arrive jamais plus brusquement dans ces rivières qu'aux époques d'inondation; de plus, les digues, comme nous l'avons dit, présentant de grands écarts dans la distance qui les sépare, leurs étranglements doivent être considérés comme produisant des diminutions partielles de la section, tandis que les élargissements qui les précèdent réalisent les circonstances d'évasement indiquées dans les expériences que nous venons de relater.

Il importe d'ailleurs d'insister sur ce point, que les observations de M. Vauthier ont constaté que ce mode d'écoulement avec surélévation n'est pas une sorte d'état d'équilibre instable susceptible d'être détruit quand il se produit une diminution notable dans le débit, un ralentissement momentané dans la vitesse à l'aval, ou quelque autre altération dans les conditions d'écoulement; il est au contraire d'une persistance absolue, et l'auteur n'a pu trouver d'au-

tre moyen de le faire cesser que de fermer la vanne et de laisser complétement vider le canal avant de le remplir de nouveau.

« Il est possible, dit en terminant M. Vauthier, « qu'à la vue des résultats précédemment indiqués, « quelques personnes, parmi celles qui ont étudié « le régime des cours d'eau sans y avoir rien re- « marqué qui leur ait donné l'idée des phénomènes « produits dans nos expériences, soient disposées à « tirer de ce fait un argument négatif contre ce que « nous avons avancé, et à contester que des effets de « cet ordre puissent se réaliser dans les fleuves et « rivières. Mais nous observerons, d'une part, en « nous référant aux considérations préliminaires « que nous avons énoncées, que les phénomènes de « surélèvement et d'abaissement dont nous avons « traité se produisent en vertu du terme qui repré- « sente, dans la formule du mouvement permanent, « la hauteur due au changement de vitesse moyenne « d'une section d'un courant à l'autre; par suite, les « surélèvements ou abaissements, ne dépendant en « valeur absolue que du rapport des vitesses, pro- « duisent, dans l'axe hydraulique d'un grand cours « d'eau, des inflexions d'une bien moindre hauteur, « *relativement à la profondeur*, que dans un petit « canal comme celui dont nous nous sommes servis; « d'autre part, dans un petit canal on a tout sous « les yeux, tandis que les intumescences ou dépres- « sions produites dans un grand cours d'eau s'éten- « dent sur des longueurs considérables. Il résulte de « ces deux faits que, dans un grand cours d'eau, les

« phénomènes de ce genre s'expriment par des re-
« liefs ou dépressions de surface qui sont bien loin
« d'être perceptibles à l'œil, comme dans notre ca-
« nal, et dont seulement peuvent rendre compte avec
« exactitude des nivellements bien faits, convena-
« blement interprétés. Il n'est donc pas étonnant
« que ces phénomènes, quoique très-réels et très-
« fréquents, aient échappé à l'observation des per-
« sonnes qui ne soupçonnaient pas leur existence et
« ne se servaient pas de la théorie qui pouvait la leur
« révéler.

« Il est juste, d'ailleurs, d'observer qu'ayant
« maintes fois constaté que des élargissements, ap-
« profondissements ou bifurcations de lit donnaient
« lieu à des abaissements du niveau de l'eau, on
« devait être éloigné de soupçonner que les mêmes
« causes, modifiées par de légères circonstances,
« pussent produire des effets tout opposés, et c'est
« cependant ce que nos expériences et la formule
« établissent péremptoirement.

« Il ne faudrait pas néanmoins conclure de ce
« que nous venons de dire que ces effets, quoique
« peu facilement perceptibles aux observations su-
« perficielles, ne soient pas en certains cas de la plus
« haute importance. Ainsi, en ne traitant pour l'in-
« stant que du surélèvement, nous voyons qu'il n'a
« pas dépassé, dans nos expériences, 0^m,18: mais il
« aurait pu aller de 0^m,70 à 1^m,10, si notre canal
« eût été disposé de manière que nous y pussions
« produire des vitesses de 4 à 5 mètres de hauteur,
« au lieu de celles de 1^m,50 à 2 mètres, au delà des-

« quelles nous ne nous sommes pas élevé. Or, beau-
« coup de rivières en France atteignent dans leurs
« crues des vitesses égales à celles que nous venons
« de citer et les dépassent même de beaucoup en
« certains points. Il est donc extrêmement urgent
« d'avoir en vue la production possible des phéno-
« mènes dont nous avons parlé dans les questions
« qui se rattachent à l'aménagement des rivières, et
« particulièrement à celles de leurs crues, parce que
« c'est alors que les vitesses prennent les valeurs les
« plus considérables et que les surhaussements, ré-
« sultant de l'élargissement des sections, deviennent
« le plus dangereux. »

Les dépôts qui s'effectuent dans l'intervalle compris entre les digues et les berges proprement dites diminuent incessamment la section d'écoulement et sont une quatrième cause de la submersibilité des digues.

Les ingénieurs qui se sont occupés du régime des cours d'eau et de celui de leurs crues ne sont pas tous d'accord sur la question de savoir si les digues longitudinales ont provoqué l'exhaussement du lit des fleuves. Les uns sont pour l'affirmative, les autres nient cette conclusion. Même dans les pays où la solution de cette question offre le plus d'intérêt, dans les provinces néerlandaises, on hésite sur ce point.
« Les uns, dit M. Jules Lacroix dans le mémoire déjà
« cité, font remarquer que, depuis plusieurs siècles,
« on a été obligé de relever constamment la crête
« des digues, le long des fleuves, et que la plupart
« des polders riverains ont ajouté, depuis leur créa-

« tion, un rang de moulins à ceux qui avaient été « d'abord suffisants pour décharger dans les cours « d'eau leurs canaux intérieurs. Ils en concluent que « le niveau des eaux courantes se relève, que les « fleuves sont en équilibre instable, qu'une nouvelle « catastrophe est imminente, et qu'il faut la pré- « venir par un travail général ayant pour but, soit « d'épancher les eaux sur de grandes surfaces, soit « de les dériver et de leur créer de nouveaux lits. »

Nous ferons d'abord observer que de ce qu'il a fallu relever constamment les digues, cela ne prouve pas infailliblement que le lit des fleuves s'est exhaussé. Cette circonstance peut tenir uniquement à ce que, dans le système d'endiguement longitudinal (et les observations que nous avons développées ne justifient que trop cette manière de voir), on n'a jamais su exactement à quelle hauteur il fallait établir le couronnement des digues pour atteindre le but qu'on s'était proposé ; ce n'est que par tâtonnements, et à mesure que les leçons de l'expérience se sont produites, qu'on a acquis sur ce point des connaissances un peu plus précises que par le passé.

Nous ne voulons pas dire pour cela qu'une nouvelle catastrophe n'est pas imminente. En effet, que le relèvement des eaux corresponde à celui du lit ou qu'il doive être attribué à toute autre cause, le fait même de ce relèvement est incontestable et par conséquent le danger n'en subsiste pas moins. Mais il importe, dans une matière où l'on n'est que trop disposé à persévérer dans une mauvaise voie, d'établir la critique sur son véritable terrain et de ne faire

usage que d'arguments incontestables et incontestés. Le sujet en discussion présente un trop grand intérêt pour qu'on n'évite pas avec soin toutes les occasions de donner des armes contre soi à des adversaires habiles.

Quant à ce qui concerne la création d'un second rang de moulins, on a répondu que ce n'est pas l'exhaussement du lit des fleuves qui a relevé les eaux, mais que ce sont les terrains des polders qui se sont abaissés depuis qu'ils ont été endigués et desséchés; que la pente des eaux moyennes de l'Yssel, du Leek, du Waal, de la Meuse, n'étant jamais moins de $0^m,10$ par kilomètre, donne toujours aux courants assez de force pour repousser jusque dans la mer les limons et les sables qui sont les seules matières transportées par ces fleuves.

Quant à nous, nous croyons devoir faire remarquer que si, à une certaine époque, l'opinion que les lits des rivières s'exhaussent a été fort accréditée, que si quelques-uns de nos plus célèbres ingénieurs, en tête desquels nous devons placer Prony, ont beaucoup contribué à répandre cette croyance dans le public, nous devons faire remarquer, disons-nous, que plus on s'est appliqué à approfondir cette question par des études spéciales, plus on a été entraîné à la résoudre par la négative. Ainsi, il résulte des aperçus comparatifs auxquels se sont livrés les ingénieurs italiens, concernant le régime du Pô à diverses époques, que contrairement à ce qu'on a prétendu jusqu'à ces derniers temps, il n'est nullement démontré que le lit de ce fleuve, dans la portion moyenne

et basse de son cours, soit plus élevé aujourd'hui que dans les siècles qui ont précédé le nôtre.

Nous reprendrons cette question, dans la suite de de cet écrit, lorsque nous traiterons de la partie montagneuse du cours des fleuves, et nous ferons connaître en détail les divers faits propres à fixer les irrésolutions à cet égard. Mais sans nous appuyer sur une opinion aujourd'hui controversée, sans admettre, ce qui nous paraît peu probable, que dans nos grandes vallées la partie qui forme, à proprement parler, le lit des fleuves prenne des exhaussements successifs, on ne saurait nier que, lorsque des levées sont construites le long d'un cours d'eau, les espaces compris entre ces levées et les berges naturelles reçoivent d'abondants dépôts. Peut-être n'en est-il pas ainsi dans la période ascendante des crues, qui est toujours plus courte que la période descendante et qui est signalée par des vitesses d'un ordre supérieur. Mais lorsque les eaux d'inondation ont cessé de monter, lorsque leur retrait est franchement accusé, la grande puissance des écoulements reste alors exclusivement concentrée dans le thalweg, c'est-à-dire dans le lit proprement dit, et les vitesses s'amortissent considérablement dans l'étendue comprise entre les berges et les digues. Cette atténuation très-notable des vitesses provoque ainsi d'importants atterrissements qui exhaussent le sol, et diminuent de plus en plus la capacité du lit majeur.

A cet égard, les considérations théoriques que nous venons d'exposer sont en complet accord avec l'expérience. Ce qu'on appelle les ségoneaux dans la vallée

du Rhône, les golênes dans celle du Pô, en est une preuve frappante. Les terrains ainsi désignés, nous avons déjà eu l'occasion de le dire, sont ceux qui s'étendent depuis les berges du fleuve jusqu'au pied des digues : or, c'est un fait constant qu'à chaque crue des atterrissements se forment sur ces zones privilégiées, de sorte que celles-ci sont généralement plus élevées que les terres auxquelles les digues servent de rempart protecteur ou, pour mieux dire, qu'elles privent des mêmes bienfaits; car, autant par suite de ces atterrissements que par la nature fertilisante des substances qui les produisent, les ségoneaux ont une valeur très-supérieure à celle des terrains soustraits à l'envahissement des eaux d'inondation.

Si donc, lorsqu'on construit des digues, on compte que la section d'écoulement qu'elles comprennent entre elles possède à l'origine une certaine capacité, on doit s'attendre à ce que cette capacité ira sans cesse en diminuant, ce qui provoquera forcément un relèvement du plan d'eau et contribuera, avec les autres causes ci-dessus énumérées, à rendre plus inévitable la submersibilité des digues.

Résumé.

Nous pouvons donc dire, à la suite de cette longue discussion, que le système des digues longitudinales que, jusqu'à ce jour, on a considéré comme le seul remède à opposer aux inondations, et auquel on a donné, surtout dans ces derniers temps, un développement que nous considérons, à plus d'un titre,

comme funeste à la prospérité du pays, que ce système, disons-nous, prive à tout jamais nos vallées du précieux bienfait des dépôts fertilisants; qu'en ce qui concerne la résistance, il est loin d'offrir les conditions nécessaires pour remplir efficacement le but auquel on le destine; que ce défaut de résistance est la cause la plus directe de catastrophes autrement désastreuses que pourraient l'être celles de l'épanchement libre des eaux; que ce système, posséderait-il, eu égard à la solidité des ouvrages, toutes les qualités qui lui manquent, présenterait des dangers de premier ordre par suite des sinuosités, des étranglements et des élargissements entre les digues qui le privent du principe salutaire de la continuité en matière d'écoulement; qu'enfin, soit au point de vue de la théorie, soit à celui de l'expérience, la base essentielle sur laquelle il devrait s'appuyer, celle en vertu de laquelle l'espacement des digues entre elles et les hauteurs de leur couronnement devraient être réglés, nous échappe complétement, parce que, d'une part, les formules algébriques usuelles ne concordent pas avec les faits pratiques observés, parce que, d'autre part, nous sommes encore loin d'être fixés sur la limite extrême de l'intensité des inondations.

Dans de telles circonstances, et en présence des terribles exemples qui ne nous ont pas fait défaut, avoir une confiance exclusive dans ce système, ne s'occuper que de lui, persévérer dans une voie où, à la suite de grandes dépenses, on ne recueille que des ruines plus grandes encore, c'est une tendance

que nous devions combattre de toute la puissance de nos convictions, contre laquelle nous avons cru devoir protester au nom des intérêts les plus sacrés de nos villes, de nos campagnes, de la navigation de nos fleuves, de l'irrigation de notre territoire, au nom de tant de familles menacées à la fois dans leur fortune et dans leur existence.

CHAPITRE V.

DU SYSTÈME D'OUVRAGES A ENTREPRENDRE POUR CONJURER LES FACHEUX EFFETS DES CRUES ET POUR PROFITER DE LEURS AVANTAGES.

PREMIÈRE SECTION.

Disposition générale des ouvrages.

Conditions essentielles auxquelles il faut satisfaire.

Nous avons fait connaître dans le chapitre troisième à quel point de vue rationnel il convient d'envisager le phénomène des inondations; nous avons parlé de ses dangers, nous avons énuméré ses avantages. Dans le chapitre suivant, nous avons porté notre attention sur les ouvrages à l'aide desquels on a cherché à protéger les terres contre l'invasion des eaux; nous avons démontré que ces ouvrages sont inefficaces, qu'ils sont inintelligents; et, invoquant à la fois les enseignements de la théorie et les leçons de l'expérience, nous avons cherché à convaincre le lecteur qu'ils étaient, pour notre pays, un fléau aussi redoutable, plus redoutable peut-être que celui contre lequel ils ont la mission de nous défendre.

Maintenant donc que nous sommes fixé sur ce

qu'il convient de détruire dans les crues, sur ce qu'il faut au contraire chercher à conserver; maintenant que nous avons pu reconnaître que le système de défense suivi jusqu'à ce jour est complétement opposé au but qu'on doit se proposer d'atteindre, occupons-nous des divers moyens à mettre en œuvre, non pas pour faire disparaître les inondations (il faut, il est utile que nous sachions vivre avec elles), mais pour réduire à la plus petite proportion possible les dégâts qu'elles occasionnent, et profiter, dans toute leur étendue, des richesses qu'elles peuvent nous procurer.

Une vallée dans laquelle les eaux d'inondation prendraient leur libre essor, dans laquelle on laisserait les courants s'établir en raison de l'état naturel des lieux et des volumes d'eau qui y affluent, éprouverait sans doute des dégâts, mais ces dégâts seraient loin d'être comparables à ceux qui sont la conséquence des ruptures des digues; or, comme jusqu'à présent ces ruptures ont toujours eu lieu à chaque forte crue, qu'il a été impossible de les éviter, nous sommes porté à conclure qu'à tout prendre, mieux aurait valu laisser une contrée, comme celle que parcourt la Loire, sans défense, que de lui en donner une à l'aide de digues longitudinales.

Mais si le système de l'abstention eût été préférable à celui qui a été mis en œuvre, il s'en faut qu'il soit le meilleur : il a des inconvénients qu'il importe d'éviter; cela tient à ce que les courants qui s'établissent dans les plaines, pendant leur inondation, lorsqu'on les laisse abandonnés à eux-mêmes, ne man-

quent pas d'intensité. Si, dans l'exemple que nous avons cité de l'inondation en 1846 des plaines du Forez, non-seulement on n'a pas constaté de dégâts sur les terrains, mais si au contraire on a reconnu que la crue leur avait fait plus de bien que de mal, cela tient, il faut bien le remarquer, à ce qu'à l'extrémité aval de cette plaine, dans le défilé des gorges de Pinay, d'intelligents travaux sont venus compléter l'œuvre commencée par le rétrécissement naturel de la vallée, et qu'un barrage transversal suffisamment élevé, et ne présentant à travers son massif qu'une faible ouverture de 20 mètres de largeur pour le passage des eaux d'inondation, a permis à celles-ci de s'amonceler peu à peu en amont de la retenue, a détruit la majeure partie de la pente naturelle du fleuve, et a ainsi diminué dans une forte proportion les vitesses des courants. Or, nous l'avons dit, c'est surtout par la vitesse de leurs eaux que les crues sont dangereuses ; c'est à cause de cette vitesse que les dépôts fertilisants sont emportés vers l'aval, et ne profitent pas aux terres riveraines; c'est parce que les courants sont rapides que les ouvrages de défense sont détruits, que le sol est profondément affouillé.

Le programme tout entier des ouvrages à établir dans les plaines se trouve dans cette observation fort simple. Que faut-il donc faire ? D'une part, laisser les eaux s'épandre dans la vallée, qui pourra ainsi recevoir leurs dépôts; d'autre part, s'attacher à ce qu'elles y arrivent sans faire irruption, mais avec une vitesse assez grande pour tenir en suspension leur limon et pour augmenter le volume du dépôt par le re-

nouvellement de la masse liquide, et assez petite toutefois pour qu'elle ne présente rien d'offensif et de destructeur.

Digues transversales de chaque côté des vallées.

Un moyen simple de réaliser ces conditions, c'est de substituer des digues transversales aux digues longitudinales, de barrer partiellement les vallées en travers, au lieu d'encaisser les fleuves sur toute la continuité de leur cours.

Ces digues, établies de distance en distance sur les plaines des deux rives, seraient dirigées normalement au cours de l'eau ; elles se rattacheraient par leur tête aux coteaux qui forment la limite naturelle de ces plaines. Leur couronnement horizontal serait établi à un niveau un peu plus élevé que celui des plus fortes inondations, non pas tel qu'il est devenu depuis que l'établissement des digues longitudinales a relevé de plus en plus le plan supérieur des eaux, mais tel qu'il pouvait être avant la construction de ces digues. Il y a lieu d'espérer que, soit en procédant à un examen détaillé des localités, soit en consultant au besoin les archives et les documents historiques de chaque contrée, on pourrait obtenir des renseignements précis sur la fixation de ces niveaux. D'ailleurs, et ce n'est pas là un des moindres avantages des combinaisons que nous proposons, la parfaite connaissance de ces niveaux ne serait pas d'une rigoureuse nécessité, soit parce que dans le doute on prendrait le parti de donner plutôt plus que moins de hauteur, soit surtout parce que dans

le système de l'endiguement transversal, ainsi que nous l'expliquerons tout à l'heure, la submersibilité des digues est aussi peu offensive qu'elle est redoutable dans celui de l'encaissement longitudinal.

A partir d'une certaine distance des rives, déterminée par les considérations relatives à l'établissement d'un lit majeur à créer au fleuve, c'est-à-dire d'une section centrale d'écoulement dans laquelle viendraient se réunir les plus grandes masses d'eau et les plus grandes vitesses, à partir de cette distance, disons-nous, l'horizontalité du couronnement cesserait et serait remplacée par une inclinaison modérée qui rattacherait le sommet des digues au niveau général de la plaine. Cette partie inclinée des obstacles transversaux, qui limiterait le lit majeur de l'écoulement dans le fleuve proprement dit, devrait être construite solidement, avec pieux et forts enrochements, de manière à résister efficacement à l'action des eaux courant dans le lit, et à former ainsi une série de limites fixes entre lesquelles seraient maintenues à l'avenir toutes les vitesses torrentielles de l'inondation.

Quant à la partie des digues transversales sur laquelle le couronnement est horizontal, elle serait faite simplement en terre, à l'exception d'une faible longueur avoisinant les plans inclinés, sur laquelle il serait nécessaire d'augmenter la résistance.

Ce n'est pas ici le lieu de pousser plus loin les explications sur ce point, car nous ne nous occupons pas en ce moment des études d'un projet qui, pour être complet, devrait être défini dans ses bases es-

sentielles par une connaissance approfondie des localités auxquelles il serait applicable; nous devons nous borner plutôt à des aperçus généraux auxquels la science de l'ingénieur sera appelée à donner plus tard, dans chaque cas spécial, le complément nécessaire. D'ailleurs, quelques développements ultérieurs compléteront ce que nous avons à faire connaître, à un point de vue toujours général, sur les détails et sur l'ensemble de cette nature d'ouvrages.

Effets comparatifs des digues longitudinales et des digues transversales.

Mais il nous semble que la description sommaire qu'on vient de lire est amplement suffisante pour donner une juste idée des effets qui se produiront à l'avenir dans les vallées, sous l'influence de ces travaux.

Pendant que les eaux torrentielles s'écouleront dans le lit majeur convenablement amplifié et limité, de distance en distance, par les plans inclinés des digues transversales, les espaces compris entre ces digues recevront incessamment le trop-plein du liquide que la crue fournira. Ce trop-plein s'épanchera peu à peu, et par une immense section, dans ces espaces; il y arrivera sans vitesse offensive, soit à cause de la grande étendue de la section, soit parce que, retenu de distance en distance par les obstacles transversaux, il sera impossible aux courants de se former; cette diminution de la vitesse, aux limites mêmes du lit majeur, sera une cause immédiate de

la précipitation des sables et graviers, de sorte que ceux-ci continueront à être maintenus dans les eaux torrentiels du lit majeur, et descendront avec elles à la mer, mais n'existeront plus dans celles qui s'emmagasineront entre les digues; ces eaux n'apporteront donc sur les terrains que ces digues enclosent que les dépôts limoneux, et leur afflux, de violent et destructeur qu'il était, sera devenu tranquille et bienfaisant.

Autant, dans le système des digues longitudinales, une rupture de ces digues est imminente et offensive pour les terrains qu'elles sont destinées à protéger, autant, dans celui des digues transversales, les avaries sont peu à redouter, et leurs conséquences sont peu dangereuses. Pour s'en convaincre, il suffit de résumer sommairement ce que nous avons développé dans le chapitre précédent.

En effet, les digues longitudinales, qu'il est impossible de construire autrement qu'en terres très-sableuses, et auxquelles leur relief élevé assure un prompt égouttement, sont très-facilement perméables à l'eau, et comme leur mission est de maintenir le fleuve à un niveau très-élevé au-dessus des terrains situés derrière elles, comme nous ne sommes pas encore fixés sur la hauteur qu'il faut leur donner pour qu'elles soient réellement insubmersibles, il s'ensuit que, d'une part, soumises à des pressions hydrauliques incessamment croissantes avec la crue, elles sont traversées par de nombreux filets fluides qui vont en grossissant, et en préparent la destruction; et que, d'autre part, au moment même où elles

viennent à être surmontées, une prompte rupture est la conséquence inévitable de ce nouvel effort des eaux.

En outre, indépendamment des puissantes pressions qu'elles éprouvent, les digues peuvent recevoir sur plusieurs points, et notamment dans les sinuosités, les effets directs des vitesses et des chocs du liquide, vitesses et chocs dont l'établissement même de la digue accroît considérablement l'intensité, puisqu'il relève le plan général des eaux, et que plus ce relèvement prend de l'importance, plus la vitesse augmente.

Rappelons enfin cette très-fâcheuse circonstance, inhérente à la forme même des digues, en vertu de laquelle leur épaisseur, et par conséquent leur résistance à une force d'impulsion, diminue avec la hauteur, tandis que cette même force de destruction, au contraire, augmente à mesure que les niveaux s'élèvent.

Nous avons déjà expliqué comment ces diverses remarques, approfondies dans tous leurs détails, sont de nature à faire comprendre la facilité de destruction des digues longitudinales, et ne justifient que trop les fréquentes ruptures que celles-ci ont éprouvées.

Dans le système des digues transversales, rien de tout cela n'est à craindre.

Ce n'est qu'à leur extrémité inclinée, formant la limite du lit majeur du fleuve, que ces digues sont exposées à la violence des courants; mais, dans ces parties menacées, qui ont d'ailleurs une longueur res-

treinte, on peut augmenter à volonté la résistance, ainsi que nous l'avons indiqué, à l'aide de pieux et de forts enrochements. En outre, comme on sait à l'avance que c'est sur ces points que les avaries peuvent se produire, on peut y tenir en réserve des matériaux toujours prêts à être mis en œuvre, si les circonstances l'exigent.

Quant au reste de la digue, il est toujours entouré d'eaux, relativement très-calmes, dont la différence de niveau, de l'amont à l'aval, pourra, dans tous les cas, ainsi que nous l'expliquerons plus tard, être réduite à une faible importance ; de sorte que cette partie des ouvrages n'éprouvera jamais ni des chocs violents ni des pressions hydrauliques dangereuses.

Enfin, en poussant les choses au pire, la rupture d'une digue ne pourrait jamais avoir de fâcheuses conséquences. Il en résulterait seulement que les deux bassins contigus, que cette digue sépare l'un de l'autre, n'en formeraient plus qu'un. D'ailleurs, la jonction des deux nappes liquides s'opérant, même dans le début, sous une faible charge qui irait promptement en s'atténuant, exercerait tous ses efforts, non contre le sol sous-jacent, comme dans le cas de la rupture d'une digue longitudinale, mais contre le liquide lui-même, dont la grande masse en détruirait rapidement les effets.

Ainsi, dans le système des digues transversales, non-seulement les chances d'avaries sont considérablement diminuées, mais encore, dans le cas où une rupture aurait lieu, elle ne présenterait rien d'offen-

sif; c'est, comme on voit, tout le contraire de ce qui a lieu dans le système opposé.

Ce qu'il faut faire dans les vallées qui ne sont pas défendues par des digues longitudinales.

Certes, après cette analyse comparative des avantages et des inconvénients des deux systèmes, on devrait s'attendre à ce que notre préférence fût irrévocablement acquise à celui des digues transversales, et telle est, en effet, notre conclusion pour toutes les vallées dans lesquelles il n'a été fait jusqu'à ce jour aucun travail d'endiguement, et qui, par conséquent, ont adopté le mode de culture le mieux approprié à cet état de choses. Dans ce cas, les digues transversales nous paraissent être la seule nature de travaux à entreprendre dans les plaines des vallées. Elles détruiront la violence des courants, et provoqueront l'exhaussement général du terrain, en même temps qu'elles en augmenteront la fertilité par de riches dépôts.

Quant à la trop grande accumulation des eaux et à la diminution de la hauteur des crues, il faudra y pourvoir, dans ce cas, comme dans tous les autres, par de vastes emmagasinements de liquide convenablement distribués, soit sur le fleuve principal, soit sur ses affluents, et qui, suivant les indications du chapitre troisième, auront le triple avantage :

1° De réduire notablement la portée des inondations ;

2° D'augmenter, en temps de sécheresse, le volume

des eaux d'étiage, et d'être d'un puissant secours pour la navigation ;

3° De servir de tête à d'utiles canaux d'irrigation sur le cours desquels seront distribuées de nombreuses forces hydrauliques.

Nous nous sommes déjà appesanti, et nous reviendrons plus en détail, à la fin de ce chapitre, sur ce point très-important de l'aménagement général des eaux.

Difficultés et hésitations pour le cas des vallées qui sont déjà défendues par des digues longitudinales.

Mais nos conclusions seront loin d'être aussi absolues lorsqu'il sera question d'un fleuve, comme la Loire, sur lequel le système d'endiguement, entrepris depuis plusieurs siècles, a pris un très-grand développement, et où tant et tant d'intérêts ont dû se plier depuis un si long temps aux exigences, aux vices même de ce système, qu'il pourrait peut-être y avoir aujourd'hui autant de mal que de bien à renoncer subitement à ce qui existe. Pour se faire des idées nettes à cet égard, il n'est pas inutile de remarquer que les cultures de la vallée de la Loire consistent en général en lins, chanvres, blés, légumes, et même en vignes, notamment dans la partie comprise entre Saumur, Langeais et Vouvray : « Or, « dit M. Corréard, qui s'est beaucoup occupé de ces « matières, comme les crues de la Loire sont à peu « près périodiques, qu'elles ont lieu en automne et « à la fin du printemps, il s'ensuit que si les digues « longitudinales étaient supprimées, il faudrait com-

« plétement changer le genre de culture d'une « grande partie de la vallée. C'est cependant à cause « de la spécialité de ces cultures que les terres se « vendent quinze à vingt mille francs l'hectare; tan« dis que si l'on était obligé d'y renoncer et de les « remplacer par des prés, qui produisent beaucoup « moins, ces terres perdraient sur-le-champ une « grande partie de leur valeur[1]. »

A vrai dire, la grande difficulté de cette importante question des inondations réside, selon nous, tout entière dans la considération que nous venons d'exposer. C'est sur ce point principalement que la discussion devra sérieusement s'établir lorsqu'on s'occupera de prendre une détermination sur les ouvrages qui doivent être exécutés, soit dans chaque vallée séparément, soit dans les diverses parties d'une même vallée. En ce qui concerne les notions scientifiques spéciales à ces sortes de projets, nous pensons que les explications précédentes contiennent le germe d'une solution très-satisfaisante; mais, lorsqu'il s'agira d'entrer dans la phase de réalisation, il faudra se prémunir contre les entraînements d'un fâcheux exclusivisme, contre la manie de vouloir, pour ainsi dire, couler dans le même moule les dispositions à adopter pour des localités très-diverses.

On doit, au contraire, s'attendre à ce qu'au point de vue de ce qui existe aujourd'hui, des intérêts matériels actuellement engagés dans la question, des habitudes prises, de la limite des territoires, de la nature des exploitations agricoles qui ont pu s'in-

[1] *Journal du génie civil*, année 1847, t. XVI, p. 178.

troduire sous le régime de l'endiguement longitudinal, du système des voies de communication, de celui de l'écoulement général des eaux intérieures par les colateurs, à tous ces points de vue, disons-nous, on doit s'attendre à se trouver en présence de très-graves difficultés, et c'est surtout, dans des circonstances pareilles à celles que nous venons de décrire, qu'il ne faut pas laisser tomber dans l'oubli cette sage maxime : que « le mieux peut être l'ennemi du bien. »

Vouloir, dès l'abord, prendre sur ce point une résolution souveraine et immédiate pourrait être une grande imprudence. Ce n'est qu'après l'étude détaillée de l'état actuel des choses, qu'après une sage appréciation de tous les intérêts, qu'après une statistique minutieuse du mode actuel de jouissance de ces intérêts, qu'il sera permis de voir clair dans cette question et de prendre un parti. Nous devons donc, sur ce point, nous efforcer de nous renfermer dans une prudente réserve, car la statistique ne s'invente pas, et, sous peine de commettre de graves erreurs, il ne doit pas être permis d'en faire dans son cabinet; si, en cette matière, il faut, comme toujours, de la réflexion et du jugement, il faut aussi beaucoup voir, beaucoup parler, beaucoup entendre, il faut être constamment imbu de cette pensée, qu'autant une statistique bien faite peut être utile, autant une statistique d'à peu près et d'improvisation peut devenir dangereuse.

Je pense donc que pour la Loire, et pour les fleuves qui se trouvent dans une situation analogue à

la sienne, ce qu'il convient de faire avant tout, c'est de procéder à la recherche d'un vaste ensemble de renseignements sur l'état agricole et industriel du pays, de savoir quelle est l'étendue des terres et l'aménagement détaillé de leurs diverses exploitations, le nombre et la situation des constructions publiques et particulières et la manière d'être de ces constructions, l'importance des intérêts commerciaux et industriels et les modes variés suivant lesquels ils exercent leur action.

Quand ce travail préliminaire sera terminé, il deviendra possible d'apprécier l'influence que, relativement à ce qui existe, pourra exercer, soit en bien, soit en mal, telle ou telle autre nature d'ouvrages à entreprendre le long d'un fleuve; de conclure avec certitude et avec profit; d'être parfaitement fixé sur le point important de savoir si cette influence, comparée à celle des désastres périodiques produits par les inondations, est finalement utile ou funeste.

Vouloir agir autrement serait, comme on le dit vulgairement, commencer par où il faut finir, et s'exposer, je le répète, à de graves et fatales imprudences.

Ce qu'il y aura de mieux à adopter dans les vallées déjà pourvues de digues longitudinales sera peut-être une combinaison des deux systèmes.

Rien ne peut d'ailleurs faire présumer que le résultat de cette grande enquête puisse être contraire à l'établissement des digues transversales. Que les levées qui ont été construites le long des

fleuves doivent disparaître ou être maintenues, les digues transversales offriront une incontestable utilité, puisqu'elles auront pour résultat immédiat, en cas de rupture des levées, d'arrêter les divagations des courants, de les circonscrire dans un espace très-limité, et d'en atténuer, même dans ces espaces, les désastreux effets. Il est même permis de s'étonner à bon droit qu'indépendamment de toute considération relative aux dépôts fertilisants et au colmatage des vallées, on n'ait pas eu depuis longtemps l'idée de limiter, à l'aide de quelques obstacles transversaux, les terribles effets des ruptures des digues longitudinales. Les avertissements au sujet de l'utilité d'une telle mesure n'ont pas manqué cependant, et ils ont été d'autant plus significatifs que, par des causes dont il est assez facile de se rendre compte, c'est le plus souvent dans les mêmes localités et sur les mêmes points, comme par exemple à Jargeau, dans les environs d'Orléans, que les ruptures ont lieu. Il y a dans ce fait une leçon d'expérience que nos prédécesseurs ont eu tort de méconnaître; faisons des vœux pour qu'on soit mieux inspiré à l'avenir.

Il y a également des motifs d'espérer que les résultats de l'enquête que nous demandons conduiront à renoncer à l'exhaussement à peu près indéfini des digues longitudinales, puisque, telles qu'elles sont, elles ne causent déjà que trop de mal.

Mais entre la poursuite de cet exhaussement, poussé jusqu'à ses dernières limites, et la suppression complète des digues longitudinales, il y a de la

marge, et il se pourrait qu'il y eût tel chiffre de hauteur à donner à ces digues pour lequel le rapport des avantages aux inconvénients devînt finalement ce qu'il y aurait de plus acceptable. Expliquons notre pensée par quelques développements.

Avec le système des digues transversales seul, toutes les crues dont les hauteurs atteindront et dépasseront le sommet des berges naturelles du fleuve s'épancheront sur les terrains. Le colmatage, nous l'avons dit, est une compensation à ces fréquents épanchements; mais il est incontestable qu'il peut y avoir dans ce fait, suivant les modes de culture aujourd'hui adoptés, et suivant le régime de périodicité des crues qui pourrait exister dans certaines vallées, de grands inconvénients; chaque année, de nombreuses et précieuses récoltes peuvent être ainsi perdues.

Cet inconvénient n'existe pas avec les digues longitudinales; mais si en cela elles paraissent devoir obtenir la préférence, cet avantage est amplement compensé par les désastres qui sont la conséquence des fortes inondations.

On est donc naturellement conduit à se demander si, par une heureuse fusion des deux systèmes, il n'y aurait pas moyen de réaliser les avantages inhérents à chacun, tout en faisant disparaître ce qu'ils ont de nuisible. Or, nous prévoyons que, lorsqu'on aura suffisamment réfléchi ser ces matières, ce pourrait bien être là le parti qu'on jugera le plus convenable d'adopter.

Ce qu'il y a malheureusement de trop certain,

c'est qu'en l'état actuel de l'exhaussement des digues, non-seulement de grands malheurs ne sont pas évités, mais qu'au contraire ils sont provoqués dans la mesure la plus désastreuse, par le fait même de cet exhaussement. Profitons donc de ces dernières leçons, qui vont coûter quelques centaines de millions à la France, et, au lieu de poursuivre le rêve à peu près chimérique de relever les digues de manière à placer leur sommet en contre-haut des plus fortes inondations passées et surtout futures; au lieu de nous bercer de l'espoir que nous pourrons parvenir, en aggravant ainsi tous les périls, à faire acquérir à ces digues un degré de résistance que nous n'avons pas encore su leur donner lorsque les difficultés étaient moindres, abaissons-les au contraire dans une certaine proportion; résignons-nous à recevoir un peu plus souvent sur nos terrains l'épanchement des eaux des fleuves, mais en nous préservant de toutes leurs violences et des désastres qui en sont la suite. Continuons, je le veux bien, à nous mettre à l'abri des crues faibles et moyennes, et sauvons ainsi autant de récoltes que nous pourrons, mais arrêtons-nous dans cette voie à un terme sensiblement inférieur à celui qu'on a cherché à atteindre jusqu'à ce jour, et n'hésitons pas, lorsque ce terme sera arrivé, à faire la part du fleuve, en lui ouvrant une partie des réservoirs de nos vallées, en les lui ouvrant même tous s'il le faut. Le parti le plus sage, lorsqu'on est en présence d'un ennemi redoutable et par lequel on a la conviction d'être vaincu, c'est de transiger et de faire la paix; essayer,

dans ce cas, de lutter contre lui, ce n'est plus qu'une aveugle témérité, au bout de laquelle on ne trouvera que des ruines.

A cet effet, après avoir baissé, comme nous venons de le dire, la hauteur des digues, et avoir profité de cette réduction pour fortifier leur empâtement et augmenter leur résistance en couronne, perçons-les d'une nombreuse série de vannes, à l'aide desquelles les eaux du fleuve pourront communiquer à volonté avec les réservoirs intérieurs et temporaires formés par les digues transversales; puis, à un moment donné, lorsque les avis venus des parties supérieures du fleuve et de ses affluents seront menaçants, lorsque les quantités de pluie recueillies sur les versants seront signalées par des nombres exceptionnels, lorsqu'en un mot l'heure du danger sera sur le point de sonner, pratiquons sur le fleuve de nombreuses saignées, à l'aide de l'ouverture de nos vannes; remplissons autant de réservoirs que l'état de la crue l'exigera; emmagasinons de plus en plus les eaux surabondantes dans ces vastes espaces, jusqu'à ce qu'étant enfin parvenus à rétablir l'équilibre entre les nouvelles quantités d'eau affluentes et celles que nous aurons ainsi soustraites à l'écoulement général, le mouvement ascensionnel de la crue s'arrête, les craintes se dissipent et le danger soit conjuré.

Il n'est pas possible à l'homme d'empêcher que, dans un temps donné, la pluie ne verse une certaine quantité d'eau sur le bassin d'un fleuve; il ne lui est pas possible de réduire à néant la plus petite par-

celle de cette masse d'eau; mais il a les moyens d'arrêter la vitesse de son écoulement, et ce doit être là son refuge contre les inondations. Prolongez la durée de l'état de crue; à un lit unique et insuffisant ajoutez les secours de vastes et nombreux récipients, et vous réduirez d'autant les hauteurs et les vitesses; en un mot, luttez contre les grandes masses avec la ressource des espaces et du temps; mais, pour atteindre ce but, gardez-vous d'employer exclusivement les digues longitudinales qui, au contraire, abrégent les durées, limitent les sections, exhaussent le niveau des eaux, font grandir les vitesses et s'élèvent comme une perpétuelle et terrible menace sur les terres de nos vallées.

Nécessité de construire des réservoirs d'eau permanents.

Les digues transversales, soit qu'on les emploie seules, soit qu'on combine leur action avec celle des digues longitudinales convenablement modifiées, auront donc le précieux avantage, ainsi que nous l'avons expliqué, de détruire la violence des courants sur les terres inondées, de protéger efficacement les champs et les villes contre les effets des vitesses excessives, d'assurer aux premiers le renouvellement d'utiles engrais, de permettre aux secondes d'espérer en l'avenir, et de donner aux esprits cette confiance, si favorable au progrès, que les assauts multipliés de nos dernières années ont presque complétement anéantie.

Il est en outre incontestable que, sous l'influence de ce système de travaux, les hauteurs des inonda-

tions seront loin d'atteindre les niveaux auxquels elles s'élèvent actuellement dans l'encaissement formé par les digues longitudinales.

Toutefois, il faut reconnaître que si, dans les vallées où ces dernières digues existent, on parvient ainsi à une grande amélioration, comparativement à ce qui s'observe aujourd'hui, il n'en est pas de même, comparativement à ce qui existait autrefois, avant la construction des levées parallèles au fleuve. On aura bien, d'une part, diminué l'intensité des anciens courants qui s'épanchaient librement dans les plaines, mais, d'un autre côté, par le fait même de cet amortissement général des vitesses, on aura provoqué un certain exhaussement des nappes liquides déversées. De sorte que si, sous le rapport des hauteurs, on obtient une situation beaucoup meilleure que celle d'à présent, cette situation, comparée à celle des temps anciens, sera au contraire un peu plus défavorable.

Il n'en résulterait pas de grands inconvénients pour les terres; car pour celles-ci l'important est de ne pas être violemment envahies; et, lorsqu'il y a nécessité qu'elles subissent une submersion, peu importe que la tranche liquide qui les recouvre ait un peu plus ou un peu moins de hauteur.

Mais il n'en est pas de même pour les villes, où les plus grandes richesses commerciales et industrielles sont le plus souvent concentrées dans les étages inférieurs des maisons, où même elles ont de préférence établi leur siége près des ports, c'est-à-dire dans les parties les plus basses des cités, où la ma-

jorité des foyers domestiques proprement dits réside dans ces étages, où les grands intérêts de la vie publique et privée s'agitent à la surface même du sol sur lequel les constructions se sont élevées.

Il y a donc un grand intérêt à ce que, non-seulement on puisse anéantir partout les vitesses de déversement, mais encore à ce qu'on puisse notablement réduire la hauteur absolue des inondations et créer pour l'avenir un état de choses meilleur d'abord que celui de l'époque actuelle, meilleur même que celui des temps antérieurs.

Ce problème ne présente, ni au point de vue de la conception ni à celui de l'exécution, des difficultés sérieuses.

Pour le résoudre, il faut, aux réservoirs temporaires créés dans les plaines et qui se vident d'eux-mêmes à mesure que la crue descend, ajouter des réserves permanentes d'eau, dans les parties supérieures des bassins des fleuves, à l'aide de barrages fermant les vallées dans leurs gorges étroites, et pouvant retenir en amont des volumes considérables de liquide, dont on provoquera plus tard l'écoulement à volonté.

Qu'il nous soit permis de citer à ce sujet un fait que nous tenons de M. l'ingénieur Faraguet, et qui se rattache très-directement à l'établissement des réservoirs permanents en pays de montagnes.

La rivière qui baigne la ville de Lima, au Pérou, est à peu près exclusivement alimentée par les eaux provenant de la fonte des neiges accumulées sur les sommités de la chaîne voisine des Cordillères. Il ne

tombe presque jamais de pluie à Lima ; M. Faraguet, qui y a fait un assez long séjour, n'a été qu'une seule fois témoin de ce phénomène. Il résulte de là que lorsque les neiges sont fondues la rivière est à sec.

Or, avant l'invasion du Pérou par les Espagnols, les Incas, pour remédier aux inconvénients, si graves dans les pays chauds, de ces sécheresses, avaient conçu et exécuté le projet de retenir dans de vastes bassins une quantité considérable des eaux provenant de la fonte des neiges. Ces bassins, formés par de fortes digues établies dans les parties resserrées des vallées, servaient à l'approvisionnement de la ville et de ses environs, aux époques où la rivière cessait de couler.

Après la conquête, la civilisation européenne, plus imprévoyante que le gouvernement indigène, ne donna aucun soin à l'entretien des digues et des réservoirs, qui se dégradèrent peu à peu et cessèrent de fonctionner. Toutefois, la totalité des ouvrages n'est pas détruite et il en reste encore des vestiges imposants. Pendant le séjour de M. Faraguet, un habitant du pays s'était livré à une étude assez développée de la reconstruction des réservoirs et avait adressé au gouvernement un mémoire justificatif, accompagné de plans et d'évaluations qui démontraient avec beaucoup d'évidence la possibilité de l'exécution. M. Faraguet devait procéder à une reconnaissance des localités ; malheureusement les difficultés financières et l'instabilité des institutions au Pérou ont forcé d'ajourner l'exécution de ces projets.

Ces détails nous ont paru ne pas devoir être passés

sous silence. Il est digne de remarque, en effet, que le nouveau monde, longtemps avant ses communications avec l'Europe, ait conçu et réalisé la pensée d'arrêter les écoulements d'un cours d'eau naturel, et de tenir en réserve une partie des volumes de liquide débités en temps d'abondance, pour la faire servir à des besoins ultérieurs aux époques de pénurie. Sans doute cette opération n'a rien que de fort simple, et il n'y faut voir qu'une imitation de ce que la nature a fait plus en grand par la formation des lacs dans les régions montagneuses. Mais l'initiative prise dans cette circonstance par les anciens habitants de l'Amérique n'en est pas moins digne d'attention ; car, malgré sa simplicité évidente, malgré la grande utilité qu'une semblable opération doit avoir pour notre pays, elle n'est encore chez nous qu'à l'état de projet, et peut-être ne triomphera-t-elle pas sans quelques difficultés, soit de l'inertie, soit du mauvais vouloir, soit de l'opposition que semblent vouloir lui réserver quelques esprits.

Discussion sur la possibilité de trouver des emplacements pour ces réservoirs.

Il ne faut pas croire que les localités favorables à l'établissement de ces réservoirs soient peu nombreuses. L'homme qui ne connaît que les plaines ne se doute pas des ressources qu'on trouve à cet égard dans les pays accidentés. Pour nous qui avons habité, pendant plus de quinze ans, dans les parties montagneuses des départements du Tarn, de l'Aveyron, du Lot et de la Corrèze, et qui, par la nature même de

nos services, avons été souvent appelé à réfléchir sur toutes ces choses, pour nous, aucune incertitude ne peut subsister à cet égard, et tous les ingénieurs qui se sont trouvés dans une situation identique à la nôtre partageront, nous n'en doutons pas, notre manière de voir.

« En parcourant les affluents de la Loire, dit « M. Boulangé dans le mémoire déjà cité, on trouve « de distance en distance des élargissements qui cor« respondent à d'anciens lacs, et, en dessous de ces « lacs, des rétrécissements où il existait autrefois « un barrage naturel que les eaux ont usé et em« porté. »

Pour la Loire en particulier et pour ses affluents, M. Boulangé trouve qu'on pourrait exécuter vingt-quatre barrages, dans la seule étendue du département de la Loire. Il en serait de même pour les parties montagneuses des autres vallées ; car, en général, ce n'est pas la nature qui fait défaut à l'humanité, c'est plutôt la volonté de l'homme qui, se laissant enchaîner dans les liens d'une fatale inertie, ne sait pas mettre à profit les précieuses ressources que le ciel a léguées à la terre.

Nous n'ignorons pas que les partisans de l'endiguement longitudinal, et à plus forte raison ceux qui seraient disposés à ne rien faire, prétendent qu'il ne serait pas possible de trouver un nombre suffisant d'emplacements pour emmagasiner les quantités de liquide qu'il faudrait soustraire à l'écoulement général en temps de crue, dans le but d'apporter une notable réduction dans les hauteurs des inondations.

Mais ce sont là de simples assertions qui, le plus souvent, ne sont pas justifiées, du moins au point de vue où nous devons ici envisager les choses.

Sans doute, on s'est déjà occupé en France de la question des réservoirs. Mais dans quel but? Dans celui d'alimenter les canaux de navigation et d'arroser les terres.

Or, dans l'un et dans l'autre cas, ce n'est pas sur les sommités qui dominent les vallées que les investigations ont été dirigées. Les points de partage des canaux, aussi bien que les terres qu'on peut arroser avec avantage, sont en général fort éloignés de l'origine montagneuse de nos grands fleuves, et on n'est pas remonté jusqu'à cette origine; il en aurait trop coûté pour cela. Il est donc possible, nous voulons le croire, qu'on soit assez bien renseigné sur ce qui se passe dans les environs des cols de nos faîtes secondaires et dans les parties relativement très-basses de nos vallées. Mais il n'en est pas ainsi de leurs parties supérieures, dont l'étude hydrologique est à peu près nulle, par ce motif que, jusqu'à ce jour, la nécessité de la soumettre à nos spéculations, surtout en ce qui concerne les crues, n'a pas été comprise.

Nous ne pensons pas qu'il y ait d'ingénieur qui ait poussé plus loin que Brisson la tendance à développer jusqu'à leurs dernières limites les ramifications de nos lignes de navigation secondaires. Eh bien, qu'on jette les yeux sur la carte de France qui termine son essai sur la navigation intérieure, et on se convaincra que tous ses canaux s'arrêtent au pied

des grands massifs montagneux. Du côté des Pyrénées, ils ne dépassent pas la ligne qui joint Tarbes à Saint-Gaudens. Autour du massif central, ils laissent intacts les départements de la Corrèze, du Cantal, de l'Hérault, du Gard, de l'Ardèche, de la Haute-Loire, et la majeure partie de ceux de l'Aveyron, du Tarn, duPuy-de-Dô me et de la Loire, c'est-à-dire les pays où prennent leur source la Vienne, la Creuse, le Cher, l'Allier, la Loire, l'Ardèche, le Gard, l'Hérault, l'Aveyron, le Tarn, le Lot, la Dordogne. A peine l'auteur jette-t-il sur les lisières septentrionale et méridionale de ce massif quelques lignes de chemins de fer destinées à remplacer celles des canaux devenues impossibles. Les Vosges ne lui paraissent pas plus accessibles que le Jura, et, dans les Alpes françaises, tout se borne à améliorer la navigation de l'Isère entre son confluent et Grenoble.

La nécessité d'étudier nos hautes montagnes, au point de vue de réservoirs à y établir, ne s'est donc pas fait sentir, et les impossibilités dont on parle sont plutôt apparentes et relatives que réelles et absolues.

On peut savoir quelque chose à ce sujet, nous le répétons, pour les espaces sur lesquels la navigation artificielle est susceptible d'étendre son réseau; on ne sait rien de tout le reste, parce qu'on n'a pas eu occasion de s'en informer.

Or, la question est assez importante pour qu'on ne se tienne pas pour battu par une fin de non-recevoir qui se borne à mettre en avant une impossibilité sans la démontrer. Le doute est d'ailleurs

d'autant plus légitime que lorsque, dans quelques rares circonstances, les ingénieurs ont été conduits, au sujet des inondations, à porter leurs méditations sur cet ordre d'idées, et ont cherché à se rendre compte de ce qui se passait autour d'eux, il s'en faut que le résultat de leurs recherches ait été négatif, ainsi que le prouvent les études de M. Vallée pour le Rhône, celles de M. Boulangé pour la Loire, les nôtres pour les contrées où le Lot et le Tarn prennent leur source.

Et parce qu'il s'agit ici d'un immense intérêt pour le pays, parce qu'il serait imprudent et coupable de renoncer, faute de recherches suffisantes, à des améliorations aussi importantes que celles dont nous présentons le tableau, nous pensons que ce n'est pas en commençant par capituler qu'il faut abandonner le champ de bataille, que ce n'est qu'après de nombreuses et minutieuses investigations, après une exploration détaillée des hautes vallées et de leurs ramifications, qu'il sera permis de décider s'il faut poursuivre l'entreprise ou y renoncer.

On a parlé de difficultés pour l'établissement des réservoirs d'alimentation des canaux, et nous ne les nions pas. Mais, si nous n'avons pas fait fausse route dans l'étude de ces questions, nous croyons pouvoir assurer que ces difficultés consistent moins dans la possibilité de trouver des emplacements, de créer de vastes capacités, que dans celle d'y réunir et d'y conserver des quantités d'eau suffisantes dans la saison d'été; et cela se conçoit, puisque c'est dans cette saison que l'absorption par les terres, les besoins de la

végétation, l'évaporation occasionnent les plus fortes pertes d'eau.

Appuyons cette pensée par quelques exemples.

Lorsque les besoins croissants de la navigation du canal du Midi et l'addition de la rigole de Narbonne rendirent insuffisants les 7 millions de mètres cubes du réservoir de Saint-Ferréol, on ne fut pas longtemps à trouver l'emplacement du nouveau réservoir de Lampy qui en contient 4 millions. Si aujourd'hui une plus grande quantité d'eau encore est nécessaire, ce n'est pas la nature qui nous refusera les moyens de la mettre en réserve. L'emplacement d'un nouveau réservoir, à peu près égal à celui de Lampy, a été depuis longtemps indiqué. Cet ouvrage a été l'objet des études des ingénieurs, et si, jusqu'à ce jour, il n'a pas été créé, ce n'est pas à l'insuffisance de la topographie du terrain qu'il faut attribuer la cause de cette abstention.

Lorsque l'administration a compris l'utilité d'aménager des eaux pour l'arrosage et la navigation dans le bassin de la Garonne, l'exploration de la chaîne des Pyrénées, dans une partie très-restreinte de son cours, a démontré la possibilité de créer à l'Orédon, au cap de Longue, à Oule, à Lannemezan, des réserves d'eau de 50 millions de mètres cubes.

Lorsque les ingénieurs chargés de l'amélioration de l'Yonne et de la Seine ont été conduits à penser qu'il pourrait être avantageux de créer des réservoirs, ils se sont mis à l'œuvre, et ils ont trouvé qu'on peut établir à Andryes, aux Settons, à Saint-

Aignan, à Villeneuve et à Serein, des réserves d'eau de 120 à 130 millions de mètres cubes[1].

Ces exemples sont concluants; et quand sur les faibles étendues que nous venons de signaler, qui sont loin d'atteindre 200 kilomètres carrés, nous trouvons des emplacements suffisants pour contenir jusqu'à 120 millions de mètres cubes, est-il possible, nous le demandons, de ne pas espérer d'en emmagasiner 200, comme nous ferons voir que cela est nécessaire, dans la partie supérieure du bassin de la Loire, en amont de Roanne, avec la facilité d'étendre les investigations sur l'immense champ de 6,400 kilomètres carrés qui forme ce bassin, et d'explorer des surfaces trente fois plus considérables que celles que nous venons d'indiquer. Certes, s'il était permis en cette matière d'apprécier les choses possibles par les seules lois de l'analogie, ce n'est pas 200, mais 400 à 500 millions de mètres cubes d'eau qu'on pourrait espérer de détourner aux crues, et cela sans arriver, tant s'en faut, aux limites extrêmes que les aperçus comparatifs permettent d'entrevoir.

Il y a donc dans l'étude même, si restreinte encore, de la topographie hydraulique de la France, plus d'espérances à concevoir que de craintes à redouter; et alors même qu'il ne nous resterait pas encore un si grand nombre de régions inconnues à interroger, alors même que nous ne devrions prendre pour base des réussites futures que celle que nous four-

[1] *Du Rhône et du lac de Genève*, par M. Vallée, p. 254 et 255.

nissent les succès déjà réalisés, c'en serait assez, croyons-nous, pour avoir confiance en l'avenir, pour nous fortifier dans la conviction que les projets qui doivent développer à un si haut degré la prospérité de la France ne sont pas de vaines illusions. Aussi, à nos adversaires qui semblent nous dire, dans la stérilité de leur immobilisme : « Ne cherchez pas, car vous ne sauriez trouver, » nous répondrons par cette parole plus sage, plus consolante, plus progressive, plus divine : « Cherchez et vous trouverez. »

Nous ne reviendrons pas ici sur les considérations relatives aux trois ordres d'avantages qui doivent être la conséquence de la création des réservoirs permanents; elles ont été énumérées dans le chapitre troisième avec tous les développements nécessaires.

Nous aurions maintenant à présenter quelques explications, soit sur l'emplacement de ces réservoirs, soit sur les volumes d'eau qu'ils devraient contenir pour produire des effets réellement utiles; mais, afin de ne pas interrompre le cours des idées, nous reportons à la deuxième section de ce chapitre ce que nous avons à exposer sur ce sujet, ainsi que sur les divers détails qui concernent, à proprement parler, les bases principales de l'exécution des ouvrages à créer dans chaque circonstance donnée.

Nécessité de soumettre à une réglementation administrative la construction des maisons dans les vallées inondables.

Avant de terminer cet exposé des dispositions à adopter pour combattre les fâcheux effets des inondations, disons quelques mots d'une mesure admi-

nistrative dont l'absence, jusqu'à ce jour, a malheureusement augmenté le nombre et l'importance des désastres causés par les eaux.

Les maisons bâties le long de nos voies publiques sont partout soumises à des servitudes qui, en apportant quelques entraves dans la jouissance des intérêts privés, ont toujours été considérées comme une garantie, une protection indispensable en faveur de l'intérêt général. Pourquoi ne ferait-on pas pour les parties inondables des vallées ce que l'on a constamment fait pour nos rues et pour nos places? Pourquoi n'exigerait-on pas que la faculté de bâtir fût soumise à une certaine réglementation sur tous les terrains dont se compose le champ des inondations? S'arrêterait-on devant quelques scrupules, le plus souvent très-exagérés, qui veulent que l'on respecte un principe jusque dans ses conséquences les plus abusives, et craindrait-on d'apporter quelques restrictions dans l'exercice d'un droit qui, abandonné à lui-même, compromet trop souvent, non-seulement la fortune, mais encore l'existence de ceux-là même qui en font usage?

Nous pensons que l'action gouvernementale, naturellement protectrice des intérêts de tous, doit intervenir dans cette circonstance; qu'elle doit, sans hésitation, prendre des mesures qui, quoi qu'on en puisse dire, sont avant tout essentiellement conservatrices; nous pensons que l'administration, qui a la puissance de faire démolir, dans certains cas, des constructions qui menacent ruine, peut et doit à plus forte raison avoir celle d'imposer des prescrip-

tions qui, faisant mieux que de remédier au mal, auront le précieux avantage de le prévenir.

Il ne s'agit pas d'ailleurs ici d'une restriction absolue, mais d'un empêchement limité à quelques zones de terrains exposées à des dangers exceptionnels. Quant à tout le reste, le droit de bâtir continuerait de subsister, mais avec des garanties de solidité dont la sûreté publique, aussi bien que celle des intérêts individuels, réclame la consécration.

A ce sujet, on ne doit pas perdre de vue que, lorsque le moment du danger arrive, lorsqu'il serait si important que tous les bras, tous les efforts fussent concentrés sur certains points, la nécessité de porter secours, au milieu des eaux, aux personnes surprises par l'inondation dans des maisons isolées que leur manque de solidité menace d'une soudaine destruction, peut devenir le plus souvent un obstacle sérieux à une efficace concentration de toutes les forces utiles. De grands intérêts généraux peuvent être ainsi sacrifiés à des exigences individuelles que l'imminence du péril et la voix de l'humanité rendent sans doute sacrées, mais qu'une sage prévoyance aurait pu éviter.

DEUXIÈME SECTION.

Considérations sur les études à faire pour déterminer les bases essentielles des projets.

Observations sur les pluies annuelles.

Une des premières recherches auxquelles doit se livrer un ingénieur chargé de défendre une vallée contre les inondations est celle qui concerne les quantités de pluie qui tombent dans la contrée. Bien que les observations pluviométriques n'aient pas reçu en France tout le développement qu'elles comportent, nous en possédons aujourd'hui un assez grand nombre pour qu'il soit possible d'acquérir des connaissances, sinon parfaitement exactes, du moins suffisamment approchées, sur la valeur de la tranche d'eau pluviale annuelle pour le cours de chacun de nos fleuves.

Après avoir réuni autant de données d'expérience qu'il sera possible de s'en procurer, on pourra s'aider, pour compléter cette partie des recherches, de quelques lois générales que nous allons sommairement exposer.

La pluie, résultant de la précipitation des vapeurs contenues dans l'atmosphère, sera évidemment d'autant plus abondante que l'air contiendra une plus grande quantité de ces vapeurs, et que les causes de leur précipitation seront plus énergiques.

Or, les courants aériens les plus humides sont

d'abord ceux qui viennent de la mer, et ils le seront en outre d'autant plus que leur température sera plus élevée. C'est là un principe de physique trop généralement connu pour qu'il soit nécessaire d'insister sur ce point.

Il résulte de ce premier fait qu'en France les pluies sont principalement alimentées, savoir : sur le versant océanique, par les vents d'ouest, et surtout du sud-ouest, qui correspondent à la direction à la fois la plus chaude et la plus étendue dans le sens de l'Océan; sur le versant de la Méditerranée, par ceux soufflant du sud au sud-est, qui, relativement à ces contrées, se trouvent dans les mêmes conditions.

D'après le sens de leur progression, ces vents marchent incessamment vers des contrées de plus en plus froides, et c'est dans cette différence plus ou moins grande de température, on le sait, que réside la cause plus ou moins efficace de la chute de la pluie.

Il suit de là qu'à leur arrivée sur le continent, leur contact avec les couches atmosphériques, généralement plus froides, provoque une précipitation immédiate. Ces vents, poursuivant ensuite leur marche, continueront de verser de la pluie, mais en quantité d'autant moindre qu'ils en auront déjà laissé tomber davantage à leur arrivée; ce n'est que dans le cas où une nouvelle différence, plus prononcée encore que les précédentes, entre leur température et celle des couches aériennes avec lesquelles ils se mélangent, viendrait à se manifester, que la précipitation pourrait prendre une plus grande in-

tensité. Or, cette circonstance se présente lorsque, après avoir traversé les plaines et les parties basses des versants, ils sont forcés de s'élever sur les revers plus ou moins abruptes des chaînes montagneuses qui limitent ces versants; l'air se trouvant plus froid que partout ailleurs dans ces contrées élevées, le phénomène de la pluie devient prépondérant, et c'est là que les mesures udométriques atteignent les plus grandes valeurs.

Que résulte-t-il de ces faits? Qu'au point de vue de la mesure de la pluie, on aura sur chaque versant trois zones distinctes:

1° La zone des montagnes, sur laquelle la précipitation des vapeurs sera la plus abondante;

2° La zone du littoral, sur laquelle il pleuvra aussi beaucoup, mais moins toutefois que sur la précédente;

3° Enfin, une zone intermédiaire, où la quantité de pluie sera un minimum.

Ces zones n'auront d'ailleurs aucune figure régulière; leur forme sera surtout influencée par les divers accidents des massifs montagneux qui les traversent, et, de plus, le phénomène de la pluie ne s'y présentera pas avec une parfaite continuité d'une localité à une autre, soit dans ses décroissances, soit dans ses augmentations.

Ainsi, pour ce qui concerne notre pays et pour le versant océanique, la discussion des mesures udométriques nous paraît révéler dans la troisième zone, celle qui est la moins humide, deux lignes assez bien prononcées de moindre pluie: l'une partant de Cam-

brai et passant par Paris, Chartres, Tours et Poitiers; l'autre prenant naissance dans la Champagne, se dirigeant sur Châlons, la Roche-sur-Yonne et Bourges.

Ces principes généraux, si on les combine avec quelques données d'expérience, seront d'un grand secours pour fixer les idées sur les valeurs relatives de la pluie dans les différentes parties d'un même bassin.

De ces considérations générales il faudra essayer de descendre, autant que possible, dans les détails, et tâcher surtout de savoir si, dans quelques parties du cours d'un fleuve, la pluie n'est pas signalée par des mesures exceptionnelles. Ces faits ont une grande importance au point de vue de l'emplacement des réservoirs. Établir, en effet, ces réservoirs à l'amont des points sur lesquels la pluie tombe avec une grande intensité pourrait être une faute grave; on aurait ainsi créé à grands frais une vaste capacité dont le remplissage serait incertain, tandis qu'avec la même dépense, effectuée quelques kilomètres plus bas, on aurait obtenu un succès complet.

Malheureusement, on n'a pas toujours à sa disposition des observations propres à faire apprécier ces détails; mais, encore ici, des considérations d'un ordre général peuvent être d'un grand secours, et nous croyons utile d'en donner un exemple.

Les vents de l'ouest et du sud-ouest, qui sont les grands producteurs de la pluie sur notre versant océanique, lorsqu'ils entrent dans la vallée de la Loire et plus tard dans celle du Cher, qui lui est sensiblement parallèle, n'éprouvent aucun obstacle, et

on se convaincra facilement, si l'on a sous les yeux une carte du pays, qu'ils doivent se porter directement et avec une grande facilité vers la partie du faîte montagneux comprise entre Château-Chinon et Avallon.

Les mêmes vents qui soufflent plus au sud, entre Bordeaux et la Rochelle, sont arrêtés par les revers du massif central qui forment le Limousin, et sont par conséquent forcés d'incliner davantage vers le nord. Ils suivent la direction de Guéret, Montluçon, Moulins, et viennent ainsi à leur tour rencontrer la ligne divisoire des deux mers entre Château-Chinon et Avallon.

Il y a donc dans cet espace une concentration exceptionnelle de vents humides; mais ce n'est pas tout, et nous allons voir que les courants méditerranéens eux-mêmes convergent à leur tour vers le même point. En effet, ces vents, qui viennent de la région sud, parcourent avec une grande facilité la vallée du Rhône, ne pouvant se déverser ni à droite ni à gauche à cause des chaînes élevées qui longent les deux rives de cette vallée; à partir de Lyon, ils entrent dans celle de la Saône qui en est la suite naturelle, et parviennent ainsi sans obstacle jusqu'à Châlons. Dans ce trajet, ils continuent à être maintenus du côté de la rive gauche du fleuve par les escarpements du Jura; mais, après avoir passé Châlons, l'abaissement prononcé du faîte de la rive droite, dont on a profité pour établir le point de partage du canal de Bourgogne, leur permet de prendre cours de ce côté, et cet effet est singulièrement facilité, parce qu'au delà de Châ-

lons les massifs de la Haute-Marne, de la Haute-Saône et des Vosges viennent former un obstacle à peu près perpendiculaire à la direction primitive du courant aérien, et le divisent en deux branches, dont l'une, inclinant au nord-est, suit le cours de la Saône et du Doubs, tandis que l'autre, prenant la direction du nord-ouest, pénètre, à l'aide de l'abaissement du faîte dont nous venons de parler, jusque dans le versant océanique, et traverse cette même zone qui s'étend de Château-Chinon à Avallon.

Ainsi, cette partie de notre territoire est placée dans une position telle que tous les vents océaniques qui arrivent en France, depuis Bordeaux jusqu'à Nantes, et une grande partie de ceux qui sont conduits de la Méditerranée par les vallées du Rhône et de la Saône, y ont leur convergence, et qu'on doit, par conséquent, s'attendre à ce qu'en divers lieux de cette contrée les mesures annuelles de la pluie acquerront une grande valeur; en effet, l'udomètre de la ville de Montsauche, qui se trouve précisément située entre Château-Chinon et Avallon, donne pour mesure de cette quantité le nombre $1^{m},520$, c'est-à-dire un des plus forts qu'on ait observés chez nous, et qui dépasse le double de la moyenne pour toute la France.

Ajoutons que la mesure de l'évaporation annuelle éprouve par contre dans ce pays une notable réduction, et que l'affluence de ces vents humides la fait tomber à la moitié à peu près de la valeur qui lui est généralement attribuée par nos ingénieurs.

On ne peut pas malheureusement espérer que les

causes de ces anomalies soient partout aussi tranchées qu'elles le sont dans l'exemple que nous venons de citer. Mais les indices de cette nature, pour être moins significatifs, n'en auront pas moins une valeur qui, en l'absence d'observations précises, pourra dans certains cas être utilement mise à profit.

Observations relatives aux intensités des pluies d'orage.

Mais s'il importe, à divers points de vue, d'avoir des notions précises sur la mesure de la pluie annuelle, il est plus utile encore d'être fixé sur ce qui concerne les intensités des pluies d'orage, puisque ce sont elles qui jouent le principal rôle dans le phénomène des inondations. En effet, un pays dans lequel la pluie annuelle serait considérable pourrait n'avoir jamais à redouter de crues, si la chute de l'eau se manifestait avec beaucoup d'uniformité, tandis que des contrées dans lesquelles il pleut assez peu, dans le cours de l'année entière, sont exposées à de grands désastres si la précipitation des vapeurs, n'ayant lieu que de loin en loin, s'effectue en grandes masses.

Pour fixer les idées sur les quantités d'eau que le ciel déverse sur la terre, pendant certains orages, citons quelques exemples.

M. de Humboldt a vu, sur les bords du Rio-Negro, la quantité d'eau tombée en cinq heures s'élever à $0^{m},047$, ce qui correspond à 94 mètres cubes par heure et par hectare.

A Arles, le 4 octobre 1806, pendant une pluie d'orage de douze heures, il est tombé un prisme

d'eau de $0^m,193$, soit 161 mètres cubes par heure et par hectare.

A Marseille, le 15 septembre 1772, on a reçu en quatorze heures un prisme de $0^m,325$, ce qui représente, par heure et par hectare, un écoulement de 232 mètres cubes.

A Cayenne, l'amiral Roussin a trouvé que la quantité d'eau recueillie, depuis huit heures du soir jusqu'à six heures du matin, était de $0^m,277$, ce qui est équivalent à 277 mètres cubes par heure et par hectare.

A Genève, en trois heures, on a obtenu $0^m,16$ d'eau, soit 533 mètres cubes par heure et par hectare.

A Nantes, l'orage du 23 mai 1834 a produit $0^m,277$ en deux heures et demie, c'est-à-dire 868 mètres cubes par heure et par hectare.

Enfin, dans la commune de Vertou, près Nantes, le même orage a eu plus d'intensité encore : il a fourni $0^m,338$ en trois heures et demie, ou environ 1,000 mètres cubes par hectare et par heure.

Si des orages pareils n'avaient pas pour correctif des durées aussi courtes que leurs intensités sont considérables, ils équivaudraient à de véritables déluges, et aucune puissance humaine ne pourrait lutter contre eux; pour s'en convaincre, il suffit de supputer ce qu'auraient produit quelques-uns d'entre eux, si leur durée, au lieu d'être de quelques heures, s'était prolongée pendant toute la journée.

Par exemple, celui de Genève aurait fourni en vingt-quatre heures une tranche de $1^m,280$, c'est-à-

dire 2/3 en sus de ce qui tombe dans cette localité pendant le cours de l'année entière.

Celui de Nantes aurait versé un prisme de 2^{m},08, c'est-à-dire une hauteur d'eau double, en un seul jour, de celle qui tombe pendant les douze mois de l'année.

Si de tels cataclysmes étaient possibles; si, en outre, au lieu d'être concentrés sur des points isolés, ils s'étendaient sur de vastes espaces, la submersion des vallées, le ravinement des montagnes rendraient en peu de temps notre globe inhabitable.

Heureusement, ces effrayants phénomènes durent peu; plus heureusement encore, les étendues sur lesquelles ils viennent s'abattre sont très-circonscrites, les désastres qu'ils provoquent sont donc limités dans les régions mêmes sur lesquelles tombe la pluie, et les écoulements qui en résultent dans les parties inférieures des fleuves conservent le caractère propre aux crues ordinaires.

Mais il est une autre nature de pluies, dont le débit par heure est moins intense, dont les effets immédiats sont moins saisissants, et qui cependant est bien plus féconde en ruines que la précédente. A l'imprévu, à la furie d'une irruption formidable, mais passagère, viennent se substituer quelquefois une persistante constance dans les débits, un sinistre prolongement dans les durées, une immense prise de possession sur les espaces envahis. Ce sont là les pluies les plus redoutables; ce sont elles qui produisent dans nos fleuves ces terribles écoulements qui deviennent des inondations. Que sont, en effet, des

hauteurs d'eau de $0^m,20$, $0^m,30$ et, pour pousser les choses à l'extrême, de $0^m,40$, qui s'abattent sur quelques hectares, sur la millième partie d'une vallée, auprès d'un prisme de $0^m,10$, de moitié, du quart même si l'on veut, qui tombe à la fois à l'amont et à l'aval d'un bassin, sur les faîtes, sur les versants, dans les plaines, sur toutes les surfaces en un mot, et dont l'écoulement final n'a pour émissaire qu'une ligne. C'est alors que doivent surgir dans les esprits les plus vives appréhensions; c'est alors, je le répète, que tous les dangers nous menacent. Le fait de ces pluies, qu'on peut appeler générales, parce qu'elles règnent à la fois sur des espaces au moins égaux à la moitié de notre territoire, de ces pluies qui tombent sans interruption pendant une durée de deux ou trois fois vingt-quatre heures, est trop connu pour qu'il soit nécessaire de s'appesantir sur ce point; or, que dans ces circonstances le débit de la pluie atteigne la proportion de $8^m,07$ à $0^m,08$ par jour, et une vaste inondation est inévitable. Tel est à peu près le chiffre normal que nous retrouvons à chacune de ces grandes crises atmosphériques.

Ainsi, dans la vallée de la Saône, immédiatement avant les terribles inondations de 1841, il est tombé à Cuiseaux, en soixante-huit heures, $0^m,270$ d'eau; et à Oullins, près Lyon, dans le même intervalle, $0^m,150$; on déduit de là, comme moyenne pour cette contrée, $0^m,210$, ce qui correspond à $0^m,074$ par vingt-quatre heures.

A l'époque de l'inondation d'octobre 1846, la pluie, ainsi que nous l'avons dit, a été générale sur le groupe

montagneux qui sépare l'Océan de la Méditerranée. Il est alors tombé à Montsauche, en quarante-huit heures, 0m,1655, et à Montbrison, en soixante heures, 0m,153, ce qui correspond à une moyenne de 0m,0720 par jour. Nous ne possédons pas en ce moment des renseignements aussi précis sur les chutes de pluie qui ont provoqué nos dernières inondations; néanmoins, de quelques données numériques, insérées dans *le Moniteur* du 15 septembre, nous déduisons qu'en mai 1856 la chaîne jurassique a reçu en moyenne une tranche d'eau de 0m,362, c'est-à-dire plus du quart de ce qui tombe dans toute l'année. Un nombre aussi élevé légitime suffisamment la supposition qu'il peut y avoir eu des jours dans ce mois pour lesquels le contingent de la pluie s'est élevé au taux de 0m,07 à 0m08.

Nous pouvons donc conclure de ces faits que lorsqu'en France les pluies sont très-générales, lorsqu'elles ont une durée de deux à trois jours, lorsque pendant cet intervalle leur débit moyen atteint et à plus forte raison dépasse 0m,07 à 0m,8, de grandes inondations sont inévitables. Ces indications nous paraissent caractéristiques en cette matière, et nous en ferons usage lorsqu'il s'agira de déterminer la capacité des réservoirs permanents.

Observations sur les fontes des neiges et des glaces.

Les effets des inondations, indépendamment des volumes d'eau versés par les pluies, peuvent être grossis par la fusion des neiges et des glaces. Lorsque cette double circonstance se produit, lorsque des

pluies abondantes, accompagnées d'une température douce, ont été précédées par une chute de neige, l'amoncellement des liquides atteint alors de vastes proportions et occasionne, eu égard à l'état actuel du régime de nos vallées, les plus graves désordres.

Presque toutes nos rivières importantes sont soumises à cette double influence. Le Rhône, qui descend des plus hauts sommets des Alpes, doit être cité en première ligne, surtout pour la partie de son cours qui précède Lyon. Ce fleuve est, plus qu'aucun autre, remarquable par l'abondance relative de ses débits pendant la saison chaude, et, sans l'influence modératrice du lac de Genève, la différence de ses régimes d'été et d'hiver serait beaucoup plus prononcée.

Dans la Garonne, les écoulements provenant de la fonte des glaces et des neiges ont une plus faible importance et cessent beaucoup plus tôt. La région des sources ayant moins d'altitude et moins d'étendue, cette cause d'alimentation est moins puissante par elle-même, en même temps que l'action plus énergique de la température en détruit plus rapidement les effets, qui se prolongent rarement au delà du mois de juillet.

Sur le Tarn et sur le Lot, ces effets cessent de meilleure heure encore, et c'est en juin au plus tard que surviennent les crues provoquées par les dernières fontes de neige. Sur la seconde de ces rivières, ces crues ne font presque jamais défaut. Elles ont reçu un nom particulier, caractéristique de la saison pendant laquelle elles arrivent : on les appelle l'*eau des*

cerises. Aussi serait-il imprudent d'entreprendre les travaux de fondations hydrauliques avant le passage de ces écoulements, derniers effets des influences météorologiques de l'hiver.

Dans les applications, et surtout lorsqu'il sera question de l'exécution des ouvrages, il sera très-utile, pour éviter des avaries et des retards, de se rendre à l'avance un compte exact des circonstances particulières qui, à cet égard, caractérisent chaque vallée.

Il est fort rare qu'une fonte de neige, non accompagnée de pluie, produise une crue redoutable. Il n'en est pas, en effet, de la neige qui fond comme de la pluie qui tombe. Il résulte des explications que nous avons données à ce sujet que l'abondance de celle-ci s'observe plutôt sur les sommets élevés que sur les lieux bas, de sorte que les plus grands volumes d'eau coïncident précisément avec les plus fortes déclivités du terrain, et de là des amoncellements de liquide dangereux. La neige, il est vrai, est aussi généralement plus abondante, à mesure que l'altitude augmente; mais d'abord, lorsque la fonte survient, celle-ci n'a pas lieu partout simultanément, parce que la température de l'air qui la provoque est toujours plus froide dans les couches supérieures; le passage de l'état solide à l'état liquide s'effectue donc d'abord dans les régions basses, de sorte qu'en un point donné de nos vallées, les écoulements qui en résultent sont distincts de ceux provenant des sommités, non-seulement par l'intervalle de temps que mettent les eaux à franchir les distances séparatrices, mais encore par

celui nécessaire pour que le phénomène de la fusion se propage des points les plus bas aux points les plus hauts. D'un autre côté, tandis que pour la pluie les amoncellements de liquide sont en raison directe de la surface des terrains qui la reçoivent et de la hauteur des tranches qui la caractérisent, il n'en est pas ainsi de la fonte de la neige, qui ne s'effectue qu'en raison des surfaces, et dont, au contraire, les effets sont d'autant plus retardés que la couche dont elle se compose a plus d'épaisseur, parce que les premières eaux fondues à la surface se solidifient de nouveau en partie au contact de la masse neigeuse qu'elles doivent traverser pour arriver jusqu'au sol. Ce sont là autant de causes retardatrices qui agissent avec une grande efficacité pour imprimer aux écoulements un caractère prononcé de progression calme et modérée et qui produisent la division plutôt que l'amoncellement des liquides.

Mais, lorsque la fusion de la neige coïncide avec la pluie, les choses ne se passent plus ainsi ; dans ce cas, le phénomène étant provoqué, non-seulement par le contact de la masse d'air successivement réchauffée, mais encore par celui de la pluie qui s'effectue partout au même instant, la liquéfaction marche à grands pas, et ses produits, s'ajoutant incessamment à ceux fournis par la pluie, peuvent devenir la cause des plus redoutables inondations.

D'ailleurs cette circonstance n'est pas susceptible d'introduire de modifications dans le système des travaux à entreprendre, dont la nature, dans ce cas comme dans les autres, doit rester la même. Les

modes des écoulements naturels sur le terrain ne sont pas en effet influencés par la concomitance de la chute de la pluie et de la fonte de la neige. Ce sont les débits seuls qui, au point de vue de leur quotité, reçoivent une augmentation ; tout se passe alors comme si le prisme d'eau pluviale avait une hauteur supérieure à celle signalée par l'instrument udométrique.

Mais il importe, ainsi que nous l'avons déjà indiqué, d'être bien renseigné sur les faits particuliers qui s'observent à cet égard dans chaque vallée et d'en tirer profit pour éviter des avaries et des retards, pendant la période d'exécution des travaux. Il conviendra aussi, lorsque les ouvrages seront terminés, et qu'il sera question de les faire fonctionner préventivement contre les inondations, de ne pas compter sur la mesure directe de chaque pluie. Il y aurait danger à ne pas prendre en considération les épaisseurs et les étendues des couches neigeuses qui recouvrent le sol au moment où la pluie survient. Un oubli dans cette circonstance pourrait entraîner les plus fâcheuses conséquences.

Observations sur la distribution, dans un même bassin, des surfaces perméables et imperméables, et sur les pentes naturelles du terrain.

La distribution des terrains perméables et imperméables dans une vallée doit être aussi l'objet d'une sérieuse attention de la part des ingénieurs. D'après ce que nous avons dit de la grande facilité de l'absorption de l'eau à travers certains étages de la for-

mation jurassique, il est évident que construire des réservoirs dans de pareils terrains, ce serait faire des dépenses en pure perte, puisque toute l'eau qui y tombe disparaît d'elle-même dans le sous-sol et que, dans de telles circonstances, les réservoirs ne soustrairaient pas un mètre cube de plus à l'écoulement général. C'est dans les terrains primitifs, dans les terrains liasiques, que ces réservoirs doivent être construits. C'est alors qu'ils rempliront, avec la plus grande somme d'utilité possible, leur double fonction de retenir, au moment des crues, d'importantes quantités de liquide, et de les conserver en abondance pour l'époque des sécheresses.

Il sera aussi très-important d'obtenir des idées précises sur les divers degrés de pente que présentent les versants particuliers d'un bassin. Ce n'est pas en général sur les faîtes que se trouvent les plus grandes déclivités, le plus souvent ces faîtes sont formés par de vastes plateaux; les pentes rapides du terrain se trouvent d'ordinaire entre les plaines basses des vallées et les plaines hautes des montagnes. Les réservoirs, soit temporaires, soit permanents, devront être établis ou au pied ou au sommet de ces pentes; c'est là seulement que l'on peut espérer d'obtenir, pour des hauteurs données de retenue, les plus vastes capacités, et de réduire, pour un même effet utile, les dépenses à un minimum.

Observations sur les directions, les longueurs, les pentes respectives des divers affluents d'une même rivière.

Enfin, ce n'est pas indistinctement sur tous les

cours d'eau qu'il faudra construire les réservoirs. Parmi les divers affluents d'une rivière, il en est dont il serait à désirer qu'on pût accélérer l'écoulement au lieu de le retarder. Les considérations qui se rattachent à cet objet ont une grande importance, et comme ils seraient difficilement saisis si l'on se bornait à en parler d'une manière générale, nous avons cru devoir les appuyer d'un exemple particulier.

La carte ci-jointe[1] représente le cours de la Loire et de ses affluents de la rive gauche depuis Monistrol jusqu'à l'embouchure de la Bèbre, au-dessous de Digoin. Occupons-nous d'abord de la moitié inférieure de cette partie du bassin qui, partant de cette embouchure, est limitée vers Saint-Just par la ligne de faîte FED*ab*.

La ligne ABCD représente la division des eaux qui, d'un côté, descendent directement vers la Loire, et, de l'autre, se rendent à la Bèbre.

Notons d'abord que le parcours de la Bèbre, depuis sa source au point E jusqu'à son confluent en A, est bien plus court que le parcours correspondant de la Loire de *b* en A.

Notons encore que la source E de la Bèbre, placée sur les hauteurs, est beaucoup plus élevée que le point *b* que nous lui comparons sur la Loire.

Il résulte de cette disposition naturelle que, dans la région que nous considérons, la pente par mètre de la Bèbre sera plus considérable que celle de la Loire par ce double motif : 1° qu'entre le point de départ et celui d'arrivée, la différence de niveau ab-

[1] Voir la planche à la fin du volume.

solue est beaucoup plus considérable ; 2° qu'en même temps le trajet est plus court.

Il y aura donc évidemment une plus grande rapidité d'écoulement sur la Bèbre que sur la Loire.

Voilà pour ce qui concerne les deux émissaires principaux. Passons à leurs affluents, qui partent les uns et les autres de la ligne divisoire ABCD. A la première vue on pourrait croire que, prenant naissance, à droite et à gauche, et successivement, aux mêmes points du faîte, et ceux de la Loire ayant un cours presque double de ceux de la Bèbre, les premiers marcheront aussi plus lentement que les seconds. Toutefois, cette conclusion pourrait n'être pas certaine, parce que le cours de la Bèbre étant sensiblement plus relevé que celui de la Loire, la pente absolue de ses affluents est moins considérable que celle des affluents du fleuve, ce qui peut établir la compensation avec une distance plus restreinte. Ici quelques opérations de nivellement sur le terrain devraient intervenir pour éclairer cette partie de la question. Comme nous n'entendons pas traiter ce sujet à fond et que nous devons nous borner seulement à quelques indications générales, nous n'entrerons dans aucun détail sur les diverses hypothèses qui pourraient être faites suivant la nature des résultats obtenus par ces nivellements, et nous admettrons que la compensation dont nous venons de parler existe en effet. Si donc une pluie vient à tomber sur la ligne de faîte ABCD et sur les versants contigus, les cours d'eau correspondants à ces versants arriveront en même temps, les uns à la Loire, les

autres à la Bèbre; mais les vitesses de celle-ci ayant une prépondérance très-prononcée sur celles de l'autre, le maximum de sa crue se fera sentir au point A, bien avant celui de la Loire, qui ne parviendra au même point que lorsque la majeure partie des eaux de la Bèbre se sera écoulée.

Cette disposition des lieux est donc très-favorable à un écoulement régulier des eaux et s'oppose avec beaucoup d'efficacité à l'amoncellement de celles que nous considérons ici. Elle évite leur concentration dans les parties du cours de la Loire contiguës et inférieures au point A, et diminue sur les terres voisines les fâcheux effets des inondations.

Dans ces circonstances, établir des réservoirs d'eau permanents sur la Bèbre serait une inutilité, puisque, dans l'état naturel des lieux, les eaux de celle-ci ne peuvent s'ajouter avec celles de la Loire; les deux débits ne tendent pas en effet à se confondre, ils passent au contraire l'un après l'autre; nous ajoutons qu'établir des réservoirs temporaires dans le genre de celui formé par la digue de Pinay serait une imprudence, puisque ces réservoirs, en retardant l'écoulement de la Bèbre, auraient pour résultat de faciliter la concentration des eaux au point A.

On voit, en outre, que si, par des considérations qui ne seraient plus relatives à ce qui se passe dans l'intérieur de l'enceinte que nous venons de considérer, mais qui auraient trait, par exemple, à un trop grand afflux des eaux de la Loire arrivant de l'amont au point *b*, il était nécessaire de faire subir une diminution au volume qui coule dans le fleuve entre

b et A, ce qu'il y aurait de plus convenable à faire serait d'établir des réserves sur les affluents les plus rapprochés du point *b*, sur le Renaisson et la Teyssonne : le fleuve serait ainsi plus immédiatement soulagé, et, pendant que ces deux artères seraient arrêtées, celles qui leur sont inférieures écouleraient leurs eaux sans aucune nouvelle addition.

L'examen de la seconde moitié de cette partie du bassin va nous conduire à des considérations de même nature, mais produisant leurs effets dans un ordre inverse.

La ligne DEFGHIKL représente le faîte qui sépare le bassin de la Loire de celui de l'Allier. Au point K de ce faîte principal vient se souder une ligne de faîte secondaire K*cdefg* qui, au point de vue de l'écoulement, jouit d'une propriété remarquable. Cette ligne sépare les affluents qui, d'une part, se rendent à la Loire, en convergeant sensiblement vers la ville de Feurs, de ceux qui, d'autre part, ont des directions dont Monistrol serait le point de concentration. Les premiers marchent en général dans le sens même de la Loire; les autres, et surtout l'Anse qui est le principal, coulent sur la plus grande partie de leur étendue en sens inverse du fleuve dans lequel ils viennent déboucher à peu près perpendiculairement.

Si nous considérons ce qui se passe sur chaque versant, à partir de la portion K*cd* du faîte, nous remarquerons que la distance de ce faîte à Monistrol mesurée sur l'Anse est plus considérable que celles qui le séparent de Feurs, soit en passant par Boen, soit en passant par Montbrison. D'un autre côté, il

y a plus de pente absolue de K*cd* à Feurs que de K*cd* à Monistrol, puisque cette dernière ville est située à l'amont de la première. Par ce double motif, la pente par mètre de l'Anse est très-sensiblement plus faible que celles des affluents de Boen et de Montbrison.

On peut faire à très-peu de chose près les mêmes observations pour la partie suivante *def* du faîte et pour ses affluents de droite et de gauche.

Il résulte de là que les eaux qui tomberont sur K*cdef* et sur les versants contigus de gauche arriveront sur la Loire à Feurs, avant même que celles qui auront suivi les versants de droite aient atteint le fleuve à Monistrol.

Voilà donc encore une circonstance éminemment favorable à la régularité de l'écoulement et très-propre à empêcher l'amoncellement des eaux.

Par conséquent, si, indépendamment des considérations qui peuvent concerner cette partie même de la contrée et par suite de l'afflux des eaux venant de la Loire en amont de Monistrol, on reconnaissait la nécessité de soulager le fleuve, à partir de cette ville, par des retenues, ce ne serait ni sur les affluents qui se dirigent vers Boen, ni sur ceux qui prennent leur cours vers Montbrison qu'il faudrait établir ces retenues, c'est au contraire sur la vallée de l'Anse qu'il faudrait les placer.

Si maintenant, au lieu de considérer les parties séparées de cette contrée, nous dirigeons notre examen sur son ensemble, nous trouverons dans cette étude de nouvelles et précieuses indications.

Portons en effet notre attention sur les rivières de Bèbre et d'Aix, qui prennent toutes deux leur source vers la partie DEF du faîte, sans insister de nouveau sur les considérations de pente absolue et de longueurs relatives suffisamment indiquées dans ce qui précède : on comprendra sans peine que les eaux qui, partant du faîte, suivent l'une et l'autre de ces rivières, arriveront à peu près simultanément à la Loire, mais les unes au point A, et les autres un peu en amont de la digue de Pinay, c'est-à-dire à un intervalle, mesuré sur le cours de la Loire, d'environ quatre-vingt-dix kilomètres. Ce serait donc là un motif de plus de ne construire sur la Bèbre aucun ouvrage qui fût de nature à retarder l'écoulement de ses eaux, et de chercher au contraire à obtenir cet effet, si les circonstances le rendent nécessaire, sur la rivière d'Aix. Cette considération nous ramène, comme la précédente, à reconnaître que c'est sur les cours d'eau qui avoisinent Roanne qu'il faudrait que des réservoirs fussent établis pour que ces ouvrages produisissent la plus grande somme d'utilité possible. Mais, tandis qu'en nous bornant à étudier ce qui se passe dans la première moitié de la contrée, nous étions conduit, comme solution, à choisir la Teyssonne ou le Renaisson, l'étude de l'ensemble fait découvrir un résultat plus satisfaisant encore, en faisant porter nos préférences sur la rivière d'Aix. On voit d'ailleurs qu'à ces mêmes points de vue des réservoirs seraient très-utilement placés sur la branche du Lignon qui se dirige vers le point G du faîte et en amont des confluents des

ruisseaux qui descendent de la partie HIK de ce faîte.

On comprendra enfin, sans qu'il soit nécessaire d'insister sur ce point, que de la comparaison des cours de la Bèbre et de l'Anse il résulte que les pluies qui tomberont en E et en K, distants l'un de l'autre de 30 kilomètres environ, arriveront aussi à peu près simultanément à la Loire, mais les unes en A, aux environs de Dompierre, et les autres à Monistrol, c'est-à-dire à une distance de 170 kilomètres au moins mesurée le long du fleuve. Nouvelle preuve de la grande utilité de réservoirs construits sur l'Anse pour apporter de grandes réductions dans l'amoncellement des eaux.

En résumé, nous sommes finalement conduit à cette conclusion que, dans la partie du bassin dont nous nous occupons, c'est sur les rivières d'Aix, du Lignon et d'Anse que des réservoirs doivent être créés.

Or, chose remarquable, les observations des siècles passés avaient d'avance justifié toute la légitimité de ces conclusions; en effet, la digue de Pinay, située à l'aval du débouché de ces trois rivières, forme dans les plaines du Forez une retenue qui résume à elle seule les trois précédentes, et confirme ainsi toutes les prévisions de la théorie. Mais nous voyons de plus que s'il vient à être reconnu que cet obstacle à l'écoulement des eaux n'est pas suffisant, les lieux sont parfaitement disposés pour lui venir en aide et pour obtenir un complet équilibre entre les besoins et les ressources.

Le lecteur trouvera peut-être que nous nous sommes longuement appesanti sur cette partie des études qui concernent la grande question des inondations. Mais, dans notre opinion, ce sujet est un de ceux qui méritent d'être traités avec le plus de soin, et sur lequel il est surtout utile d'appeler l'attention des ingénieurs, car les travaux des réservoirs coûtent fort cher; nous prouverons dans la suite de cet écrit que chaque million de mètres cubes d'eau emmagasiné représente une dépense de 80,000 fr. Or, pour un fleuve comme la Loire, la totalité de la capacité des réservoirs devrait contenir à peu près 200 millions de mètres cubes; il ne s'agit donc ici de rien moins que d'une vingtaine de millions à dépenser; or, ne serait-il pas déplorable que l'on s'exposât, faute de quelques avis, non-seulement à faire un tel sacrifice en pure perte, mais encore à prendre des dispositions qui aggraveraient le mal au lieu de le diminuer. Nous avons cru que, pour éviter cet écueil, ce n'était pas trop exiger du lecteur que d'appeler son attention sur quelques pages de discussion.

Observations sur les intensités de l'absorption au moment même de la chute de la pluie.

Dans ce qui précède, nous avons traité de ce qui concerne l'infiltration des eaux à travers les terres, nous avons fait connaître le degré d'importance qu'il faut lui attribuer suivant la nature plus ou moins perméable des terrains, nous avons en outre évalué sa valeur pour quelques-uns de nos grands

bassins. Mais il n'a été alors question que des effets cumulés de l'absorption pendant le cours de l'année entière, et il faudrait se garder d'appliquer aux pluies d'orage les conclusions auxquelles nous sommes parvenu. De nouvelles explications à ce sujet deviennent ici nécessaires.

Lorsque, par exemple, nous avons énoncé que, d'une part, certains terrains des formations oolithiques absorbaient tout; que, d'autre part, les terrains soit du lias, soit des formations primitives, n'absorbaient rien, cela ne veut pas dire qu'il n'y aura jamais dans l'année quelques parties de la surface des premiers sur lesquelles on n'observera pas des traces d'écoulement. Une disparition aussi absolue, aussi instantanée des eaux dans les moments de très-grande pluie n'est pas possible. Mais, même alors, les étendues sur lesquelles se manifesteront des écoulements superficiels seront peu considérables, l'intensité de ces écoulements n'aura qu'une faible valeur; ils ne prendront un peu d'importance qu'aux points où existent des sources, s'amortiront promptement à l'aval de ces points et ne transmettront aux artères principales que des quantités d'eau insignifiantes qui n'ajouteront presque rien aux volumes annuels de celles-ci.

De même, dans les terrains primitifs et liasiques, la couche de terre végétale qui recouvre les roches sous-jacentes pourra être aussi absorbante dans ces terrains que partout ailleurs, et, à ce point de vue, cette espèce d'absorption joue, au moment des forts orages, un rôle dont il est nécessaire de tenir

compte; mais une fois que les eaux, après trois, quatre, cinq ou six jours, suivant l'intensité de la pluie et l'épaisseur de la couche cultivable, atteignent ces roches inférieures, elles ne descendent pas plus avant dans le sens de la profondeur, elles glissent sur elles, se rendent ainsi dans les thalwegs des vallées, et c'est ce qui fait qu'eu égard à l'ensemble de l'année, on peut dire que dans ces terrains il n'y a rien de perdu, pour l'écoulement superficiel, de tout ce que verse la pluie.

Mais, au moment des orages, la terre de la surface forme comme une éponge qui s'imbibe de plus en plus à mesure que la pluie tombe, qui retient le liquide pendant un temps sensiblement plus long que sa durée, qui fait subir aux écoulements superficiels un salutaire retard et contribue ainsi, dans un certain rapport, à diminuer la portée des inondations.

On serait conduit à des résultats exagérés, si on ne tenait pas compte de cette soustraction momentanée des eaux de pluie. Mais dans quelle mesure faut-il avoir égard à cette circonstance? c'est un point sur lequel règnent encore quelques incertitudes et, pour nous diriger dans cette voie, nous avons plutôt des appréciations personnelles que des résultats positifs.

M. de Prony a admis, dans son projet de desséchement des marais Pontins, que la proportion d'eau absorbée est, pour le bassin de ces marais, égale au tiers de la tranche totale d'eau tombée; il admet en outre que pour les marais d'Arles cette proportion est de moitié.

D'ailleurs l'épaisseur de la tranche des orages qui sert de base pour le projet de dessèchement des marais Pontins est de $0^m,060$ pour vingt-quatre heures, et celle qui sert de base pour les marais d'Arles est de $0^m,09$, de sorte que M. de Prony admet que le sol du bassin des marais Pontins est susceptible d'absorber, au moment même de l'orage, une tranche d'eau pluviale de $0^m,02$ de hauteur, et que celui des marais d'Arles peut en absorber une de $0^m,045$.

Nous-même, lorsque nous avons eu à rédiger le projet de dessèchement du lac de Grand-Lieu[1], nous avons été conduit à admettre que, sur une tranche d'eau pluviale de $0^m,04$ en vingt-quatre heures, l'absorption par les terres en fait disparaître, au moment même de l'orage, les 4/7, c'est-à-dire $0^m,023$.

Ces diverses évaluations prouvent qu'il faut se garder, en ce qui concerne l'espèce particulière d'absorption que nous considérons ici, de se laisser diriger seulement par les quantités absolues des tranches absorbées dans certains cas, puisque, dans les exemples cités, ces quantités varient du simple au double. Il est nécessaire, tout en ayant égard aux indications que peuvent fournir ces chiffres, et en en tirant profit dans la pratique, de tenir compte de l'épaisseur elle-même de la tranche d'eau pluviale tombée, ou, si l'on veut, du débit de la pluie ; en général, l'absorption, considérée dans ses valeurs absolues, doit suivre une marche, sinon exactement pro-

[1] *Annales des ponts et chaussées*, année 1848, 2me semestre, p. 158 et suivantes.

portionnelle, du moins ascendante ou descendante suivant que, pour une même durée, celle de vingt-quatre heures, par exemple, le débit de la pluie augmente ou diminue. Quant à ses valeurs comparées à celles de la pluie et aux rapports qui en résultent, ces rapports seront plus grands et d'autant plus rapprochés de l'unité que la pluie sera plus petite, et ils iront ensuite en diminuant et en convergeant vers une certaine limite, car on est obligé de reconnaître que les terres n'absorbent pas indéfiniment, et qu'il arrive un point où, étant complétement saturées, la pluie peut continuer longtemps encore sans que le plus petit volume d'eau soit de nouveau retenu par elles.

Pour résumer ces observations par quelques indications numériques, nous dirons que pour des pluies très-faibles, et dans toutes les sortes de terrains, on doit considérer l'absorption comme égale à la valeur même de la pluie. Pour les forts orages, et dans les terrains primitifs et liassiques, où il n'y a d'autre imbibition que celle qui s'effectue à travers la terre cultivable de la surface, on ne doit pas compter que l'absorption soit supérieure à 1/4 ou 1/3 au plus de la pluie. Mais dans les formations naturellement perméables et dans lesquelles, indépendamment de l'absorption superficielle, les fendillements des roches permettent des infiltrations profondes, la quantité d'eau disparue pourra varier entre les 3/10 et les 9/10 de celle de la pluie, suivant le degré plus ou moins prononcé de perméabilité.

Dans chaque cas particulier, l'examen détaillé des

circonstances locales devra venir en aide à l'ingénieur pour déterminer son choix entre ces diverses limites. Mais surtout il ne perdra pas de vue que lorsque les travaux qu'il sera chargé de projeter auront pour objet des réservoirs d'alimentation, comme ceux qu'on exécute pour les biefs de partage des canaux, il sera utile, afin d'éviter des mécomptes, d'admettre un chiffre d'absorption plutôt fort que faible; que lorsqu'au contraire il aura à supputer les quantités de liquide qu'il convient de soustraire à l'écoulement général, en temps d'inondation, il sera prudent de ne compter que sur une absorption médiocre. C'est ce que nous aurons occasion de préciser plus en détail dans les recherches qui vont suivre.

Observations sur les situations respectives des réservoirs placés à une très-grande distance les uns des autres, dans des bassins différents, mais tributaires d'un même bassin principal.

Nous avons indiqué, dans une discussion précédente, les diverses considérations auxquelles il faut avoir égard pour déterminer le meilleur emplacement des réservoirs, dans une partie déterminée et relativement circonscrite du bassin d'une rivière. L'exemple sur lequel nous avons développé nos idées à cet égard embrasse une étendue de trente lieues environ de longueur à vol d'oiseau, sur six de large.

Mais lorsqu'on s'occupe de ce qui concerne un grand fleuve, comme la Loire, par exemple, il ne suffit pas de considérer seulement ce qui est relatif aux cours d'eau de second ordre qui coulent

directement vers lui. Dans ce cas très-général, le champ des recherches doit considérablement s'agrandir ; ce n'est pas sur des distances de trente lieues seulement que les investigations doivent s'étendre, c'est par centaines de lieues qu'il devient nécessaire de compter; il ne suffit plus de connaître les effets respectifs produits par des ouvrages établis sur tel ou tel point d'un bassin individuel; il faut, après ce premier ordre de recherches, qui doit précéder tous les autres, procéder à des comparaisons entre les réservoirs établis dans des bassins différents, et apprécier les avantages ou les inconvénients divers qui peuvent résulter de leur existence ou de leur mise en action simultanée. Ici encore il est nécessaire de préciser notre pensée par un exemple.

Les principaux affluents de la Loire, sur sa rive gauche, sont successivement l'Allier, le Cher, l'Indre, la Vienne.

S'il s'agissait de diminuer dans chacune de ces rivières, considérées isolément, la portée des inondations, nos observations précédentes sur l'emplacement des réservoirs soit permanents, soit temporaires, pourraient suffire. Mais, lorsque ces travaux individuels seraient exécutés, il se pourrait que, tout en faisant un grand bien dans chaque vallée, ils fonctionnassent mal dans l'ensemble, et que les retards qu'ils provoqueraient dans les écoulements partiels devinssent une cause d'accumulation des eaux dans l'artère principale qui leur sert de commun débouché.

M. Boulangé, dans son Mémoire sur l'inondation

de la Loire en 1846, s'est occupé de ces questions, et il présente à ce sujet des observations fort justes que nous allons reproduire.

« On comprend, dit-il, que les eaux de deux af-« fluents qui, par la disposition naturelle des lieux, « arrivent les unes après les autres dans un lit prin-« cipal, pourraient y arriver en même temps si l'on « ralentissait la marche de l'un des cours d'eau, et « qu'alors ces eaux réunies pourraient occasionner, « quoique isolément diminuées, une crue plus con-« sidérable qui si elles étaient abandonnées à leur « cours naturel.

« La disposition et le développement des affluents « de la Loire et de l'Allier, compris entre ces deux « fleuves, ne laissent aucun doute à cet égard.

« L'Allier et la Loire ne peuvent éprouver en « même temps une crue extraordinaire que lorsque « la chaîne de montagnes qui les sépare reçoit une « pluie d'orage sur ses deux versants; mais les af-« fluents de la rive droite de l'Allier, et l'Allier lui-« même ont beaucoup moins de développement et « une pente moyenne plus considérable que la Loire « et ses affluents jusqu'au bec d'Allier, au point où « les deux fleuves se rencontrent, et il résulte de là « que les eaux qui tombent sur le versant de l'Al-« lier arriveront au bec d'Allier longtemps avant « celles qui tombent sur le versant de la Loire. »

Il est incontestable que lorsque les crues produites dans les deux fleuves ont pour cause, comme le suppose ici M. Boulangé, une pluie d'orage qui tombe sur la chaîne de montagnes qui les sépare, les choses se

passent bien en réalité comme le dit cet ingénieur; mais ce cas de la production des crues n'est pas le seul qui puisse se présenter. Si c'est sous son influence qu'a eu lieu l'inondation de 1846, nous avons tout lieu de croire, et nous justifierons bientôt cette opinion, que ce n'est pas de la même manière que les phénomènes ont eu lieu cette année. On conçoit, en effet, qu'une pluie d'orage pourrait se développer d'abord sur la chaîne séparatrice des deux fleuves; puis se porter sur le versant de droite de la Loire; après quoi, reprise par des courants contraires, elle passerait sur ceux de gauche de l'Allier; il se pourrait aussi que la pluie ne tombât d'abord que sur le versant droit de la Loire, qu'elle envahirait successivement jusqu'à sa source, très-voisine de celle de l'Allier, et qu'à partir de ce point elle vînt, en contournant ces sources, se déverser sur les plans inclinés de gauche de ce dernier fleuve; dans ces deux cas, la pluie commençant sur le bassin de la Loire, et n'arrivant que plus tard sur celui de l'Allier, la différence qui en résulte entre les époques de sa chute pourrait compenser l'accélération que la plus forte pente de l'Allier et son plus court développement communiquent au liquide qu'il reçoit. Il peut donc dépendre des diverses circonstances suivant lesquelles s'effectuera la chute de la pluie sur les bassins respectifs de l'Allier et de la Loire, circonstances qui sont tout à fait en dehors des prévisions humaines, que les crues des deux fleuves viennent se rencontrer au même moment au bec d'Allier, et qu'il y ait par conséquent intérêt à diminuer les écoulements

dans l'un et l'autre de ces émissaires. Mais pour que les ouvrages exécutés dans ce but sur l'Allier puissent être efficaces dans tous les cas, ils ne devront pas consister en réservoirs temporaires se vidant d'eux-mêmes après leur remplissage, comme celui de Pinay, mais en réservoirs permanents, qu'on serait libre de faire fonctionner ou non suivant les circonstances.

Rien n'empêche, en outre, de supposer que la pluie, après avoir contourné les sources de l'Allier et avoir parcouru son versant de gauche, s'est avancée le long du faîte de ce versant, sur les régions élevées où le Cher prend sa source, dans les environs d'Aubusson; puis, qu'elle a gagné les latitudes de Boussac, de Guéret et de Limoges, où se trouvent les points de départ de l'Indre, de la Creuse et de la Vienne, et qu'atteignant ainsi ces divers affluents les uns après les autres, dans l'ordre géographique même suivant lequel ils sont distribués, elle a produit ce résultat, que chacun de ces cours d'eau est arrivé à son confluent, avec le maximum de sa crue, au moment même où le fleuve y prenait de son côté ses niveaux les plus élevés.

Justification déduite de la marche de la pluie pendant l'inondation de 1856.

Ce serait une erreur de croire que ce que nous disons ici de la marche possible de la pluie doit être rangé dans la catégorie des suppositions plutôt que dans celle de la réalité, car tout porte à croire, à en juger par les récits qui ont été faits des dernières

inondations de la Loire, que c'est précisément ainsi que les choses se sont passées ; cela explique parfaitement pourquoi la crue a été si persistante à Nantes, dans la partie la plus inférieure de son cours; cela explique encore les contrastes frappants qui ont existé entre cette crue et celle de 1846. En effet, tandis qu'en 1846 l'inondation a été très-forte à Roanne, et que ses fâcheux effets ont été en s'amortissant à mesure que les eaux s'éloignaient d'Orléans, cette année, au contraire, les niveaux, au lieu de s'élever à Roanne à la cote $7^m,42$, se sont arrêtés à $4^m,85$; mais, par contre, le volume des eaux, l'intensité des courants, la durée de l'inondation, les désastres qui en ont été la conséquence, s'ils n'ont pas grandi à mesure que la descente s'opérait, se sont maintenus jusqu'à la mer avec la plus grande persistance.

Comment pourrait-on se rendre compte de ces différences si remarquables qui ont signalé ces deux crues, si on n'admettait pas qu'en 1846 les pluies n'ont été générales et intenses que sur les faîtes et les versants montagneux qui forment les parties supérieures du bassin de la Loire et de l'Allier, tandis qu'en 1856 elles se sont développées, moins encore dans les parties hautes que dans les parties moyennes et basses, et qu'en outre, au lieu d'être simultanées dans celles-ci, elles ont marché avec le fleuve dans le sens de ses écoulements qu'elles ont successivement grossis des tributs de tous les affluents inférieurs?

Nous n'avons pu nous procurer la totalité des renseignements qui seraient nécessaires pour apprécier avec une parfaite exactitude la marche de la pluie

pendant la dernière inondation; nous possédons, toutefois, un assez grand nombre de données pour la faire suffisamment apprécier dans son ensemble. Ces données, on va s'en convaincre, justifient avec beaucoup d'exactitude notre manière d'interpréter les faits.

Si l'on porte son attention sur ce qui s'est passé à cette époque dans les parties supérieures de la Saône et de la Loire, on se convaincra que c'est dans la journée du 29 mai que le Doubs à Besançon, la Saône à Mâcon, la Loire à Roanne, ont commencé à prendre des hauteurs menaçantes; on est conduit à admettre, d'après cela, que la zone pluviale s'étendait en ce moment en France sur une surface dont l'axe central serait représenté par la ligne droite qui, partant d'Épinal et de Vesoul, vient aboutir sur le point du faîte où la Loire et l'Allier prennent leur source. Or, cette direction est telle que la pluie a dû venir s'abattre en plein sur le versant de droite de la haute Loire, et cela explique la crue de ce fleuve à Roanne. Des sources de l'Allier et de la Loire, la pluie, suivant les sommités du massif central, s'est d'abord dirigée, mais avec un premier retard, sur les hauteurs qui dominent Clermont, et, dans ce trajet, elle a envahi le versant gauche de l'Allier, qui n'a pu ainsi avoir sa crue que quelques heures après que la Loire avait eu la sienne. Voyons si cette première conclusion est conforme aux faits observés.

C'est le 30 mai, à dix heures du soir, que la crue de la Loire a atteint à Roanne son maximum de $4^m,85$. Le 31, à midi, elle était déjà descendue à $4^m,44$.

Mais que faisait l'Allier à Moulins dans cet intervalle de quatorze heures? Il augmentait toujours; à six heures du matin, le 31, il était à $4^{m},40$, à neuf heures du même jour à $4^{m},72$, à midi à 5 mètres! Or, la différence de distance du bec d'Allier à Moulins d'une part, en suivant l'Allier, à Roanne de l'autre, en suivant la Loire, est d'environ vingt-cinq lieues; pour franchir cette distance, les crues de la Loire, à raison d'une vitesse de 2 mètres par seconde, ont dû mettre treize heures cinquante-trois minutes, soit les quatorze heures que nous venons de signaler; d'où il suit que le maximum de la crue de la Loire est arrivé au bec d'Allier au moment même où son affluent était en pleine crue, peut-être même avant que cet état fût réalisé, parce que, d'une part, la vitesse de 2 mètres que nous attribuons à la Loire est peut-être un peu faible; parce que, d'un autre côté, à partir du 31, à midi, les mesures des hauteurs de l'Allier à Moulins nous manquant, nous sommes obligé de nous arrêter à 5 mètres, et nous ne savons pas si postérieurement on a observé davantage.

L'inondation de 1856 prouve donc que, si la disposition générale des lieux dans cette contrée est telle que, dans le cas d'une pluie simultanée sur les versants des deux fleuves, les crues de l'Allier passent au bec avant celles de la Loire, il n'en est plus ainsi lorsque la pluie n'est pas stable, lorsqu'elle marche avec le temps. Elle peut alors compenser, par ses retards dans sa chute, l'accélération naturelle des courants de l'Allier, comparativement à ceux de la Loire, et accumuler les eaux au lieu de les diviser. De ces

faits ressort la nécessité d'établir des réserves, non-seulement dans la Loire, mais encore dans l'Allier, sauf, comme nous l'avons dit, à les faire fonctionner dans ce dernier fleuve, ou à ne pas s'en servir suivant les circonstances, cé qui exige qu'elles soient permanentes.

Poursuivons maintenant l'examen de la marche de la pluie : si pendant que celle-ci s'épandait sur les versants gauches de l'Allier, depuis sa source jusqu'au delà de Clermont, elle était tombée également dans le bassin du Cher, comme il y a à peu près la même distance des sources de l'Allier à Moulins que de celles du Cher à Tours, il aurait fallu que le maximum des crues de ces deux rivières arrivât à peu près en même temps, l'un à Moulins, l'autre à Tours, c'est-à-dire à midi du 31; dans ce cas, les passages des deux crues auraient été distancés de tout l'intervalle qui sépare ces deux villes, et la crue du Cher se serait complétement évacuée dans la Loire, au-dessous de Tours, longtemps avant que celles de l'Allier et de la Loire supérieure atteignissent cette ville. Mais ce n'est pas ainsi que les choses se sont passées.

A la date du 31, on ne signalait rien d'extraordinaire au débouché du Cher, ce n'est que dans la journée du 1er juin que la rivière a commencé à monter avec quelque intensité; l'ascension des eaux s'est poursuivie dans la journée du 2 jusqu'à dix heures du soir, époque à laquelle elle s'est arrêtée; et, dans la matinée du 3, une baisse de 0m,60 était signalée. Or déjà, dès le 2 juin, dans le bassin supérieur de la

Loire, à Roanne, les eaux n'étaient plus à neuf heures du matin qu'à la cote 2^{m},20; elles étaient descendues de plus de moitié de la hauteur maximum qu'elles avaient atteinte à la fin de la journée du 30. La pluie avait donc à peu près cessé dans cette région, dès le 31 mai ou le 1er juin, pendant qu'elle tombait avec sa plus grande intensité à l'aval sur le bassin du Cher.

Enfin, le maximum de la crue à Tours s'est élevé à une hauteur de 7^{m},25 et a eu lieu le 3 juin à une heure du soir. Or, la distance de Tours à Saumur, mesurée le long de la Loire, est d'environ 65 kilomètres. Si l'on admet qu'à cause de la diminution progressive des pentes la vitesse des eaux entre ces deux stations a été réduite à 1^{m},50, il leur aurait fallu de onze à douze heures pour franchir cette distance. Le maximum de la crue aurait donc dû se faire sentir à Saumur le 3 juin à minuit; or, c'est tout au plus si le 4, à dix heures du matin, la marche ascendante des eaux était arrêtée. En effet, le 4 juin, à huit heures du matin, on observait 6^{m},95, et à dix heures 7 mètres; les données que nous avons pu recueillir s'arrêtent à cet instant de la journée.

Or, un pareil retard de dix heures au moins, sur un faible parcours de seize lieues, ne nous paraît pas pouvoir être autrement expliqué que par ce fait que la Vienne vient déboucher dans la Loire un peu en amont de Saumur, et que la crue qu'elle a éprouvée, suspendue à son tour par les retards successifs de la pluie, est venue, comme celles de l'Allier et du Cher, mais longtemps après elles, s'ajouter aux

eaux de l'artère principale, à l'époque même où ces eaux s'élevaient au confluent à leur maximum de hauteur.

Tel est, selon nous, tout le secret des désastres si imprévus, si terribles, si universels que la dernière inondation a fait subir aux rives de la Loire, moins encore sur la région supérieure de son bassin que dans les parties moyenne et basse de son cours. La pluie a été intense sans doute, elle a eu une longue durée, et ces deux causes ont exercé leur malheureuse influence; mais ce qui a aggravé le mal, ce qui l'a généralisé, c'est que la pluie n'est pas restée confinée sur les régions qu'elle avait d'abord envahies; elle a marché, elle s'est avancée dans le sens du fleuve, pendant que le fleuve s'avançait lui-même, et il y a eu, entre les deux vitesses des eaux du ciel et des eaux de la terre, cette fatale coïncidence que nulle part les masses de liquides n'ont été divisées; que partout, au contraire, elles ont été réunies.

S'il est vrai que les leçons et l'expérience du passé sont la meilleure école de l'avenir, nous n'aurons pas besoin de nous excuser auprès du lecteur d'être entré dans ces longs détails. Ces études sur les causes essentielles de l'inondation de 1856, et notamment sur la marche de la pluie qui l'a provoquée, renferment en elles de précieux enseignements; elles démontrent qu'il est des cas pour lesquels il est indispensable de pouvoir emmagasiner les eaux dans tous les bassins, quelles que soient leurs positions respectives par rapport au courant principal, et que ce n'est qu'à ce prix qu'on pourra conjurer les dan-

gers des inondations. Il n'est pas inutile de remarquer à ce sujet que si l'on ne veut pas se borner à une stérile intervention, si l'on veut donner aux futurs travaux un autre caractère que celui de n'opposer au mal que de simples palliatifs, c'est surtout en prévision des plus fortes crues qu'il faut les entreprendre, parce que la masse des désastres croît avec une bien plus grande puissance que celle des eaux, et que lorsque les niveaux ont atteint une certaine hauteur, chaque mètre de plus décuple les ruines.

Le tableau que nous venons de présenter fait voir combien a été funeste l'influence d'une pluie qui, au lieu de rester stationnaire, s'est progressivement avancée dans le sens même des écoulements ; mais qu'eût-ce été si, pendant que cet envahissement des nuages se propageait, la pluie, au lieu de cesser dans les hautes régions du fleuve, avait continué à tomber, et si la Loire avait repris cette année à Roanne les effrayants débits qui passèrent sous les murs de cette ville en 1846 ? L'imagination s'effraye à la seule pensée d'un tel concours de circonstances, mais en même temps le bon sens comprend toute la folie qu'il y aurait à conserver l'espoir de maintenir entre deux digues le déluge qui passerait alors sur la terre, et la nécessité de lui donner un lit qui n'aura d'autres limites que la largeur même de nos vallées.

Mais un tel phénomène pourra-t-il se produire, dira-t-on encore, et ne faut-il pas rejeter ces craintes dans le domaine des fictions ? Qu'il nous soit permis de répondre à cette question par un fait qui nous est personnel.

Lorsqu'après la crue de 1846 nous eûmes pris connaissance du beau travail de M. Boulangé, nous hésitâmes à accepter ses conclusions sur l'inutilité d'établir des réservoirs dans l'Allier, parce que nous entrevîmes que si, pour des pluies simultanées sur les deux versants, ces ouvrages étaient en effet inutiles, dangereux même, ils devenaient nécessaires dans le cas où ces versants seraient envahis l'un après l'autre. Nous fîmes part de nos appréhensions à un ingénieur distingué dont les sages conseils nous ont été souvent fort utiles et à la mémoire duquel nous ne pouvons offrir aujourd'hui que des regrets. « Je ne veux pas croire, nous répondit-il, à de si fu- « nestes pressentiments, le mal n'est déjà que trop « grand ; il faudrait désespérer de nos fortunes et de « nos vies s'il pouvait s'aggraver encore ; laissez-moi « vous dire que vos craintes resteront toujours à l'état « de supposition. » Neuf ans se sont à peine écoulés depuis cette époque, et voilà que nos premières fictions sont devenues des réalités ; que deviendront les secondes ? Si nous ne consultions que nos désirs, elles resteraient ce qu'elles sont aujourd'hui ; mais nos désirs ont été trompés une fois, et, en présence de cette déception, la crainte a chez nous plus d'empire que l'espérance.

Détermination des volumes de liquide à emmagasiner dans les réservoirs.

En nous occupant des quantités de liquide qu'il convient de recueillir dans les réservoirs, nous n'entendons pas déterminer en particulier les capacités

respectives de chacun de ces ouvrages ; la configuration du sol sur les emplacements qu'on aura en vue, l'étendue des surfaces situées en amont de ces emplacements, modifieront en plus ou en moins les volumes des approvisionnements qu'on pourra faire ; on cherchera à regagner dans une localité ce qu'il n'aura pas été possible de se procurer dans une autre : ce sont là des études de détail qui, à l'aide de quelques opérations de nivellement, seront facilement résolues.

L'objet que nous nous proposons maintenant de traiter est plus important et plus général ; il s'agit de rechercher par quels procédés on parviendra à se rendre compte des quantités cumulées de liquide qu'il conviendra de soustraire à l'écoulement général d'un fleuve, considéré dans son ensemble, pour qu'à l'avenir les hauteurs des eaux soient maintenues dans des limites assignées d'avance.

Pour faciliter l'intelligence des développements que nous avons à exposer, et pour rendre en même temps plus saillante leur utilité pratique, nous les présenterons pour un cas spécial : le lecteur comprendra sans peine comment on devra s'y prendre pour en faire l'application aux autres cas analogues.

Nous avons déjà eu occasion de dire que la grande inondation de la Loire, en octobre 1846, a été signalée à Roanne par une crue de $7^{m},12$ de hauteur ; le problème dont nous allons nous occuper consistera à déterminer la quantité d'eau qu'il aurait fallu soustraire à la pluie pour que cette hauteur se trouvât réduite à un nombre sensiblement moindre, 4 ou 5 mètres par exemple.

Ainsi que nous l'avons expliqué, la crue dont il s'agit a été produite par la chute d'un prisme d'eau de 0^{m},153, dont la durée a été de soixante heures environ.

Il suit de là que si on admet, avec M. l'ingénieur en chef Vauthier, que le bassin général de la Loire, depuis sa source jusqu'à Roanne, a une surface de 6,400 kilomètres carrés, et que la pluie a été générale sur toute l'étendue de ce bassin, celui-ci a reçu de la pluie l'énorme volume de 979,200,000 mètres cubes.

Mais toute cette quantité d'eau n'a pas coulé à la surface, l'absorption par les terres en a retenu une partie. Nous avons traité ce sujet dans ce qui précède et nous avons dit que, pour les fortes pluies et dans le cas des terrains primitifs, il ne fallait pas compter que l'absorption retînt plus du 1/3 et même du 1/4 de la pluie. Faisant usage de la plus faible de ces limites, nous trouvons que, déduction faite de l'absorption, la pluie dont il s'agit a donné lieu à un écoulement total de surface représenté par 734,400,000 mètres cubes.

Analysons maintenant les divers détails de cet écoulement, d'abord au point de vue des durées, en second lieu au point de vue de ses hauteurs successives.

La pluie a commencé le 15 octobre, à six heures du soir; le 16, à la même heure, M. Boulangé nous fait connaître que les eaux de la Loire étaient à la cote 1^{m},93; c'est la première des observations mentionnées dans son mémoire. Il y avait donc déjà en

ce moment intumescence; il n'est guère admissible, eu égard à la saison dans laquelle on se trouvait, qu'à l'origine de la pluie la rivière fût à l'extrême étiage, il est naturel d'admettre que son volume était supérieur au minimum. Nous manquons de renseignements précis à cet égard; mais, si nous remarquons que d'après les observations de M. Boulangé, la crue, après avoir atteint, le 16, à six heures du soir, la cote $1^m,93$, se trouvait le lendemain, à sept heures du matin, c'est-à-dire dans les treize heures suivantes, à $2^m,93$, qu'elle avait par conséquent gagné 1 mètre, nous croyons pouvoir déduire de là, avec une grande probabilité, qu'elle a sans doute augmenté d'une hauteur sensiblement égale à $1^m,50$ dans les dix-huit heures qui avaient précédé, ce qui nous reporte à très-peu de chose près à l'époque où les eaux de pluie ont dû commencer à affluer dans le fleuve.

Nous concluons de là que la crue a commencé à se manifester dans la Loire le 15, vers minuit, et qu'en ce moment les eaux étaient à la hauteur d'environ $0^m,50$, ce qui pourrait correspondre à un écoulement de 50 à 60 mètres cubes environ. Il y a naturellement quelques incertitudes dans ces déterminations, mais elles doivent avoir une très-faible importance.

L'époque du maximum de la crue a été parfaitement observée; elle a eu lieu le 18, à six heures du matin. Ce maximum est mesuré par une hauteur de $7^m,42$, qui s'est maintenue pendant six heures, jusqu'à midi.

Quant à ce qui concerne la fin des écoulements,

c'est-à-dire l'époque où la rivière est revenue à $0^m,50$, les détails nous manquent. Ceux fournis par M. Boulangé s'arrêtent au moment où les eaux, dans leur mouvement de descente, ont atteint la cote $3^m,20$; mais nous pouvons y suppléer par les considérations suivantes.

On sait que la période ascendante des crues dans les rivières est sensiblement plus rapide que la période descendante, surtout à mesure qu'on s'écarte du maximum. A Roanne, cette circonstance doit se présenter plus que partout ailleurs, parce que la retenue supérieure de Pinay a pour effet immédiat de retarder les écoulements. Il résulte, en effet, des tableaux de M. Boulangé que les eaux ascendantes ont atteint la cote $3^m,20$ le 17, à dix heures du matin. Elles ont donc mis 20 heures pour passer de cette hauteur au maximum; or, ce n'est que le 21, à six heures du matin, qu'elles se sont retrouvées à la même cote $3^m,20$; il leur a donc fallu pour cela 66 heures. La descente a donc été plus longue que l'ascension, dans le rapport de 66 à 20, soit 3,3. On ne perdra pas de vue que ce nombre n'est pas le même pour tous les fleuves et pour toutes les parties d'un même fleuve, il faudra dans chaque cas le déterminer par des observations spéciales.

Cela posé, si l'on admet que ce rapport doit être appliqué à l'ensemble du mouvement descendant jusqu'à ce que les eaux aient repris la hauteur primitive de $0^m,50$, on trouve que l'ascension ayant exigé 54 heures, il en aura fallu 178 pour la descente.

Le temps nécessaire à l'écoulement des eaux de la crue se compose donc, savoir :

1° De la durée de la période ascendante. . .	54 heures.
2° De la durée de l'étale qui a été de. . . .	6
3° De la durée de la période descendante. .	178
Total.	238

soit environ dix jours.

Nous trouvons en second lieu, en nous appuyant d'abord sur les observations de M. Boulangé, et les complétant ensuite à l'aide de la relation ci-dessus déterminée entre les durées des périodes ascendante et descendante de la crue, que les eaux se sont maintenues au-dessus des hauteurs successives $0^m,50$, $1^m,50$. . . . . et ainsi de suite jusqu'au maximum, les nombres d'heures désignées ci-dessous, savoir :

Au-dessus de la hauteur	$0^m,50$	238 heures.
—	1 ,50	181
—	2 ,50	121
—	3 ,50	73
—	4 ,50	40
—	5 ,50	26
—	6 ,50	22
A la hauteur	7 ,42	6

Ces détails sur les durées étant ainsi obtenus, procédons à la détermination des volumes d'eau écoulés par les diverses tranches que nous venons de déterminer.

Nous ne connaissons, en ce qui concerne les débits, que le chiffre indiqué par M. Vauthier, comme représentant le volume qui a passé dans le fleuve au moment même du maximum. D'après cet ingénieur,

ce volume serait de 7,500 mètres cubes; mais, dans, notre opinion, il est très-exagéré, et nous ne saurions l'admettre comme exact. Entrons à ce sujet dans quelques détails.

Dans les *Annales des Ponts et Chaussées*[1], M. Vauthier explique qu'à l'époque de la crue de 1846, dont nous nous occupons ici, il a étudié, entre les digues de la Roche et de Pinay, trois sections transversales, distantes entre elles de 390 et 490 mètres, dont les largeurs, profondeurs moyennes et aires ont varié seulement de 152 à 160 mètres, de $9^m,05$ à $9^m,88$ et de 1,450 à 1,502 mètres carrés. Il ajoute qu'il a été fait, entre les sections extrêmes un nivellement, duquel il résulte que la pente totale de superficie a été de $0^m,751$, soit $0^m,000939$ par mètre. « A moins, « dit M. Vauthier, de nier la formule même du mou« vement uniforme des eaux courantes, il faut ad« mettre que ces pentes et dimensions du lit d'inon« dation supposent un débit d'environ 7,000 mètres « cubes par seconde. »

Or, cette négation, sur laquelle M. Vauthier semble espérer qu'on ne cherchera pas à s'appuyer, est précisément le motif invoqué par la Commission des annales, à la fin de son mémoire, pour émettre des doutes très-légitimes sur les résultats qu'il annonce, doutes que nous partageons, et nous en avons donné très-amplement les raisons dans le quatrième chapitre, lorsque nous avons étudié les diverses causes de la submersibilité des digues. Rappelons sommairement

[1] Année 1848, 1er semestre, note des pages 145 et 146.

à ce sujet que la formule résulte d'expériences faites avec des eaux limpides, et que les eaux des crues chargées de sables et de limons ont une fluidité sensiblement moindre, d'où résulte, pour une même section, une atténuation dans le débit; que les sections naturelles des rivières sont parsemées d'obstacles que ne présentent jamais les canaux d'expérience dont on a fait usage; qu'enfin les observations faites sur les canaux artificiels créés dans la Meuse, pour améliorer la navigation, ont donné des résultats fort discordants avec la formule, et qu'il en résulte que celle-ci conduit à des résultats trop forts dans le rapport de l'unité à $0^m,75$. Ces diverses considérations, et surtout la dernière, ne nous laissent aucun doute sur la nécessité de diminuer d'un quart environ le chiffre de M. Vauthier et de le réduire à 5,000 mètres cubes.

Il faut, en outre, observer qu'il s'en faut de beaucoup qu'en temps de crue, et même dans un état quelconque des eaux d'une rivière, toute la section mouillée soit réellement une section d'écoulement; il arrive très-souvent qu'une portion notable de cette section est occupée par des remous dans lesquels l'eau tourne incessamment et ne descend pas.

M. Andral, un de nos ingénieurs les plus compétents en matière d'hydraulique fluviale, cite un fait de ce genre dans ses recherches sur le débit d'une crue du Lot, à Cahors : « La largeur du lit, dit-il, entre « les quais, est de 160 mètres, *mais il faut déduire de « cet espace* 30 *mètres occupés par un contre-courant « qui ne débite rien*, et compter 130 mètres seulement. » Il n'est pas un ingénieur, parmi ceux qui ont

étudié avec soin les rivières, qui n'ait eu maintefois occasion d'observer des faits analogues, et de là résulte une nouvelle cause d'atténuation dans les débits.

D'après l'opinion généralement admise avant les calculs de M. Vauthier, la Loire débite à Roanne, dans les plus fortes crues, 4,000 mètre cubes[1]. Il est vrai qu'à cette époque, la plus grande hauteur des eaux observées en ce point était de 7 mètres et que celle de 1846 s'est élevée jusqu'à $7^m,42$; mais nous croyons faire une part très-large à cette surélévation de $0^m,42$ en concédant un supplément de débit de 1,000 mètres cubes.

Faisons d'ailleurs quelques rapprochements. La surface totale du bassin de la Loire, depuis sa source jusqu'à Roanne, est de 6,400 kilomètres carrés. Cette surface prolongée jusqu'au bec d'Allier est de 15,700 kilomètres carrés, un peu plus du double de la précédente. Supposons qu'entre Roanne et le bec la pluie n'ait fourni que la moitié de ce qu'elle a donné en amont de cette ville. On aurait donc eu au bec, si le chiffre de M. Vauthier était exact, un volume total de 10,900.

La superficie du bassin de l'Allier, depuis sa source jusqu'au bec, est de 16,000 kilomètres carrés; proportionnellement, elle aurait donc dû fournir à peu près autant que la Loire, soit 10,900; mais admettons que la moitié de ce volume se soit écoulé, dans le lit du fleuve inférieur à la jonction, avant l'afflux de la Loire. Le débit des eaux réunies aurait donc dû,

[1] Voir *Patria*, colonne 106.

après toutes ces réductions, s'élever à environ 16,000 mètres cubes, résultat contraire à toutes les idées reçues; car il n'est pas un ingénieur qui admette que le maximum de ce fleuve, en temps d'inondation, dépasse 12,000 mètres cubes en quelque point que ce soit de son cours.

Le Lot, depuis son point de départ jusqu'à la station de la Magdeleine, dont nous avons déjà eu occasion de parler, est une rivière qui peut être parfaitement comparée à la Loire, depuis son origine jusqu'à Roanne. En effet, les deux fleuves prennent leur source sur le même faîte, à une distance qui ne présente rien d'excessif; la météorologie pluviale est sensiblement la même sur leurs parcours; les surfaces des bassins sont à très-peu de chose près égales, 6,400 kilomètres pour la Loire, 7,200 pour le Lot; enfin, la constitution géologique est identique. Eh bien, jamais, à la Magdeleine, nous n'avons obtenu plus de 4,500 dans les plus fortes crues.

Les supputations des ingénieurs n'attribuent pas plus de 4,800 à 5,000 mètres cubes aux fortes crues de la Dordogne à Bergerac, de 4,000 à celles de la Saône à Lyon, de 4,700 à celles du Rhin à Kehl.

Ces diverses comparaisons sont de nature à confirmer la légitimité de nos doutes sur la vérité des appréciations produites par M. Vauthier.

Mais il est une considération plus décisive encore, sur laquelle nous appelons l'attention du lecteur. Si le chiffre de M. Vauthier était exact, il en résulterait, comme on en pourra juger par les calculs qui feront suite à cette discussion, que la totalité des

eaux écoulées pendant la crue représenterait un volume total de 1,665 millions de mètres cubes; comparant ce chiffre à celui de l'étendue du bassin, qui est de 6,400 millions de mètres carrés, on en conclurait que l'inondation a été produite par une pluie dont la tranche, mesurée sur le sol, aurait $0^m,26$ de hauteur; or, il résulte des mesures udométriques que nous avons citées, que c'est à une valeur comprise entre $0^m,15$ et $0^m,19$ qu'il faut fixer la hauteur de cette tranche : l'excès est donc manifeste. Ainsi, à quelque point de vue qu'on envisage la question, on ne saurait accepter, comme exact, le débit de 7,300 mètres cubes, et la suite de nos recherches prouvera qu'en remplaçant ce nombre par 5,000, nous sommes plutôt au-dessus qu'au-dessous de la vérité.

Le débit maximum de la crue étant ainsi déterminé, voyons comment avec ce nombre nous pourrons déterminer les débits à diverses hauteurs. Si des eaux s'écoulent dans une section trapézoïdale, ayant des talus inclinés à 45 degrés, et si H et h représentent leurs hauteurs dans deux états différents, on se convaincra facilement qu'en désignant par b la base du trapèze, le rapport des débits correspondants à ces hauteurs sera $\frac{H}{h}\cdot\frac{b+H}{b+h}$.

Comme en général, dans les rivières importantes, b est très-supérieur à la plus grande des hauteurs H et h, il en résulte que le rapport $\frac{b+H}{b+h}$, qui a pour limite l'unité, en sera toujours très-rapproché. On

peut donc dire que le rapport des débits n'est que très-peu supérieur à celui des hauteurs; par conséquent si, pendant que les eaux montent, leurs vitesses restaient constantes, il n'y aurait aucune modification à introduire dans ce rapport. Mais on sait qu'à l'exception de quelques passages, sur lesquels il existe des rapides en étiage, les vitesses dans une même section augmentent avec les hauteurs, et cette circonstance fait croître les débits dans une proportion sensiblement supérieure à celle du nombre $\frac{H}{h}$.

Nous avons fait à ce sujet de nombreuses expériences sur les crues du Lot, et nous avons reconnu que, pour avoir égard à la fois à l'augmentation de la section et à celle de la vitesse, il fallait, à la simple proportionnalité $\frac{H}{h}$, substituer sa puissance 3/2.

M. Baumgarten a procédé à des recherches analogues pour la Garonne, et en a rendu compte dans les *Annales des ponts et chaussées*, année 1848, deuxième semestre, à l'aide d'une courbe graphique cotée, qui est figurée sur la planche 144. Or, les résultats qu'il a donnés confirment, avec toute l'exactitude que comporte ce genre de recherches, la loi que nous venons d'indiquer; comme ce sujet n'est pas sans importance dans la théorie des écoulements, nous donnons dans le tableau ci-après les valeurs respectives des débits observés par M. Baumgarten et de ceux calculés d'après la proportionnalité $\left(\frac{H}{h}\right)^{\frac{3}{2}}$

COTES DES HAUTEURS.	DÉBITS		DIFFÉRENCES du calcul sur l'observation.
	OBSERVÉS.	CALCULÉS.	
7m,35	3,690m c	3,690m c	»
6 ,67	3,059	3,182	+ 123m c
5 ,35	2,143	2,268	+ 125
4 ,60	1,752	1,813	+ 61
3 ,47	1,156	1,184	+ 28
2 ,57	0,734	0,758	+ 22
1 ,50	0,384	0,343	— 41
1 ,00	0,215	0,185	— 30

M. l'ingénieur en chef Andral, de son côté, a étudié les débits du Lot pour diverses hauteurs, et il a obtenu des résultats qui confirment avec non moins de rigueur la vérité de la loi que nous indiquons, ainsi qu'on peut s'en convaincre par les chiffres qui figurent dans le tableau suivant :

COTES DES HAUTEURS.	DÉBITS		DIFFÉRENCES du calcul sur l'observation.
	OBSERVÉS.	CALCULÉS.	
5m,00	1,724m c	1,724m c	»
4 ,00	1,194	1,233	+ 37m c
3 ,00	0,829	0,802	— 27
2 ,00	0,522	0,436	— 86

Les valeurs de ces différences n'ont donc rien d'excessif et permettent d'attribuer à la loi précitée une suffisante exactitude.

On pourra donc, à l'aide de cette loi, lorsqu'on connaîtra le débit pour une certaine hauteur des

eaux dans une rivière, l'apprécier pour toutes les hauteurs, et nous allons mettre à profit cette observation pour évaluer les quantités de liquide que la crue de 1846 a débitées à Roanne, en prenant pour point de départ le volume qui passait dans le fleuve à l'époque de son maximum de hauteur tel que nous l'avons rectifié, c'est-à-dire 5,000 mètres cubes. En faisant application de notre principe, nous obtenons les résultats consignés dans le tableau suivant :

DÉSIGNATION DES HAUTEURS.	TEMPS pendant lesquels les eaux sont restées supérieures à ces hauteurs.	DÉBITS par secondes correspondants à ces hauteurs.
0m,50	238heures.	86mc
1 ,50	181	444
2 ,50	121	956
3 ,50	73	1,587
4 ,50	40	2,315
5 ,50	26	3,128
6 ,50	22	4,021
7 ,42 h. station.	6	5,000

Il est facile, à l'aide des données contenues dans ce tableau, de se rendre compte des volumes d'eau qui ont été débités par les tranches successives comprises de 0m,50 à 1m,50, de 1m,50 à 2m,50, et ainsi de suite.

Si, par exemple, on veut savoir combien il a passé de liquide dans la tranche limitée par les hauteurs 3m,50 et 4m,50, on remarquera d'abord que les eaux étant restées 73 heures au-dessus de 3m,50, et 40 heures au-dessus de 4m,50, la

moyenne durée de l'écoulement par cette tranche a été de $\frac{73+40}{2}$, soit 56 heures + 1/2; c'est le temps pendant lequel on doit admettre que la tranche a coulé en plein.

D'un autre côté, l'intensité du débit a gagné, dans le passage de la hauteur inférieure à la hauteur supérieure, 2315 — 1587, soit 728; multipliant donc ce dernier débit par le nombre de secondes contenu dans 56 heures 1/2, on obtiendra pour produit le volume écoulé par la tranche; en répétant des calculs analogues pour chaque tranche, on connaîtra les divers débits partiels et leur distribution pendant la crue. Nous résumons dans le tableau suivant le résultat de ces recherches.

DÉSIGNATION DES TRANCHES.	DURÉE MOYENNE de l'écoulement de chaque tranche.	AUGMENTATION du débit par seconde dans chaque tranche.	VOLUME total écoulé par chaque tranche.
m m		mc	mc
De 0,5 à 1,5	209 heures 1/2	358	270,003,600
De 1,5 à 2,5	151 —	512	278,323,200
De 2,5 à 3,5	97 —	631	220,345,200
De 3,5 à 4,5	56 — 1/2	728	148,075,200
De 4,5 à 5,5	33 —	813	96,584,400
De 5,5 à 6,5	24 —	893	77,155,200
De 6,5 à 7,42	14 —	979	49,341,600
Total général de l'écoulement....			1,139,828,400

Ce dernier nombre ne concorde pas à beaucoup près avec celui de 734,400,000 qu'on obtient, en déduisant du volume total de la pluie celui que nous

avons attribué à l'absorption; mais on ne perdra pas de vue, ainsi que nous l'avons fait remarquer, que les évaluations qui concernent l'absorption ne sont pas susceptibles d'une appréciation rigoureuse. Il est d'ailleurs naturel que pour des crues dont la durée embrasse un intervalle de dix fois vingt-quatre heures, on doive compter que la plus grande partie du liquide absorbé dans les premières journées aura le temps de se rendre dans les cours d'eau, et contribuera à grossir le chiffre des débits.

Mais il y a ici une autre anomalie que celle qui peut résulter d'une valeur plus ou moins grande attribuée à l'absorption, puisqu'en poussant les choses à l'extrême, et en ne tenant aucun compte du volume absorbé, le produit de la pluie n'atteint que 979,200,000 mètres cubes, et que celui de la crue s'élève à 1,139,828,400, ce qui donne un excédant de 140 millions.

Ce résultat prouve à la fois que la pluie a pu avoir une intensité totale un peu supérieure à celle d'un prisme de 0^m,153 de hauteur, telle qu'on l'a constatée à Montbrison, et que très-certainement nous avons compté plus que moins en assignant au débit maximum de la crue, point de départ de tous ces calculs, une valeur de 5,000 mètres cubes. On remarquera d'ailleurs que la différence que nous signalons a pour résultat d'augmenter le chiffre des écoulements, ce qui est plutôt favorable que nuisible à l'efficacité des mesures proposées.

Si maintenant on divise l'ascension totale des eaux en deux parties, l'une inférieure, l'autre supé-

rieure, séparées par le plan de niveau correspondant à la cote 5 mètres, on constatera à l'aide du tableau précédent qu'il a passé, savoir : un volume de 964,039,400 mètres cubes au-dessous de cette cote et un volume de 174,789,000 au-dessus; de sorte que si la masse des eaux de pluie avait été, à un moment convenable, moindre que ce qu'elle a été de cette dernière quantité, il est certain que la plus grande hauteur des eaux n'aurait pas sensiblement dépassé 5 mètres. De là on conclura que pour que des crues semblables à celle de 1846 ne s'élèvent pas désormais au-dessus du niveau marqué par la cote 5 mètres, il faut créer dans la Loire supérieure des réservoirs susceptibles d'emmagasiner 175 millions de mètres cubes environ. Si, poussant plus loin les prévisions, on voulait que ce fût le niveau de 4^{m},50 qui marquât la limite des exhaussements de la Loire, le tableau précédent montre qu'il faudrait augmenter les retenues d'environ 50 millions, et les porter par conséquent à 225; les réservoirs pourraient, d'ailleurs, être en partie permanents et en partie temporaires.

Les réservoirs permanents soustrairont définitivement à la crue, et pendant toute sa durée, les quantités de liquide qu'ils emmagasinent; avec eux on sera maître de restituer les eaux au fleuve quand on voudra. Les autres, après avoir momentanément reçu le liquide susceptible de remplir leur capacité, commenceront à le rendre aussitôt que le remplissage sera complet. Il faudra donc calculer le temps de ce remplissage, et par conséquent les capacités, il fau-

dra combiner les distances respectives soit des réservoirs entre eux, soit des réservoirs aux principaux affluents interposés, de manière que la restitution du liquide, et son passage d'une retenue à l'autre, ne coïncide jamais avec les débits maxima de ces affluents, et qu'une retenue quelconque soit déjà en voie de décroissance, lorsque celle d'amont commencera à lui envoyer ses eaux. Ce sont là des recherches qui exigeront un examen attentif des localités, et pour lesquelles plusieurs tableaux analogues à ceux que nous venons de donner pour les écoulements de Roanne seront d'une indispensable nécessité. Si nous rédigions un traité complet sur la matière, nous aurions à présenter à ce sujet de nouvelles études de détail, mais nous devons nous borner principalement à exposer ici des vues d'ensemble, à indiquer les principes en vertu desquels on devra se diriger, à signaler les principes généraux qu'il faudra mettre en œuvre, les conditions essentielles qu'on devra chercher à réaliser pour la plus grande efficacité du système proposé. Quant à la discussion plus complète des données relatives, soit aux localités elles-mêmes, soit à l'intensité suivant laquelle s'y développent les phénomènes naturels, nous devons laisser à chacun le soin d'en discuter les détails.

Considérations sur les longueurs à adopter pour l'espacement des digues transversales.

Les ouvrages dont nous venons de nous occuper concernent plus spécialement les parties supérieures des bassins des fleuves ; descendons maintenant vers

les parties basses de leur cours, dans lesquelles doivent être principalement établies les digues transversales, et portons notre attention sur les conditions essentielles de leur établissement.

Ces digues doivent fonctionner à deux points de vue : d'abord comme emmagasinement des eaux sur les plaines, en second lieu comme modératrices des vitesses dans les espaces qu'elles enferment.

Quant à l'emmagasinement, l'emplacement des digues n'est pas assujetti à satisfaire à des principes théoriques ; à cet égard, on pourrait placer ces digues à peu près où l'on voudrait, et on se déterminerait naturellement dans ce choix pour les localités qui, par leur disposition naturelle et leur mode de culture, offriraient l'avantage de réduire le plus possible les dépenses, soit au point de vue des travaux, soit à celui des indemnités qu'il faudrait payer pour dommages.

Il n'en est pas de même en ce qui concerne l'amortissement des vitesses, qui ne peut s'obtenir que par un brisement convenable des pentes naturelles de la vallée.

Voici les considérations sur lesquelles on peut s'appuyer pour procéder à cette détermination.

Si l'on admet qu'au moment des fortes inondations, telles qu'elles se produiront désormais lorsque les rivières seront emménagées conformément aux idées que nous exposons dans cet écrit, la vitesse dans le lit majeur est égale à 3 mètres ou 3^{m},50 à la surface du courant, la hauteur due à cette vitesse sera d'environ 0^{m},50. Or, comme à la rencontre des digues

transversales et sur leurs plans inclinés qui limitent le lit majeur du fleuve, cette vitesse sera à peu près complétement détruite par la résistance de l'obstacle, la nappe latérale déversée sur la plaine prendra un surhaussement en rapport avec la perte de force vive qui aura lieu en ce point; c'est la condition indispensable pour que la permanence des mouvements respectifs soit des eaux débordées, soit de celles qui courent dans le thalweg, se maintienne. Or, d'après ce que nous venons de dire, ce surhaussement atteindra la valeur de 0m,50. Il y aura donc cette différence entre le liquide du thalweg et celui compris entre deux digues transversales consécutives, que le premier conservera toute la pente naturelle comprise entre ces digues, tandis que le second perdra une partie de cette pente totale égale à 0m,50.

Cela posé, supposons que la pente moyenne par mètre d'un fleuve est de 0m,00025; c'est à très-peu près celle de la Loire, entre Orléans et Paimbœuf, et celle de la Garonne, entre le confluent du Lot et Marmande; si l'on admet pour un instant que les digues transversales sont moyennement espacées entre elles de 4 kilomètres, il existera de l'une à l'autre une pente totale de 1 mètre. Cette pente étant réduite, d'après ce que nous venons de dire, de 0m,50, l'eau coulera sur les terres submergées avec une pente moyenne par mètre de 0m,000125, et aura par suite une vitesse comprise entre 0m,50 et 0m,60, même avec une hauteur de submersion de 2 mètres. Cette vitesse existera surtout dans les zones qui se rapprocheront du lit majeur, et s'amortira de plus en

plus, à mesure qu'on considérera des portions de liquide plus éloignées de ce lit; or, comme elle ne présente rien d'excessif, nous sommes ainsi conduit à reconnaître que, dans les conditions de pente ci-dessus définies, l'espacement moyen d'une lieue entre les digues transversales est très-admissible.

Cet exemple nous paraît suffisant pour donner une idée de la marche à suivre dans les divers cas qui pourraient se présenter, et nous n'insisterons pas plus longtemps sur ce point.

Importance qu'il conviendra de donner aux réservoirs temporaires à créer dans les plaines basses des vallées.

Il ne faudrait pas croire que dans tous les cas il pourra être nécessaire d'exécuter sur l'entier parcours d'un fleuve des digues transversales.

Déjà les réservoirs d'eau créés dans les parties supérieures des bassins auront considérablement réduit les débits, et plus considérablement encore les hauteurs, ce qui est le point important; ainsi, nous avons vu que des réserves de 175 millions sur 1140, c'est-à-dire de 1/5, suffiraient pour faire descendre les niveaux de la cote $7^m,42$ à celle 5 mètres ou du 1/3. Un tel abaissement constitue déjà une très-grande amélioration, qui se fera sentir sur le cours entier du fleuve, et diminuera d'autant la masse des travaux à exécuter dans les parties inférieures des vallées; il faudra donc s'appliquer avant tout à apprécier les effets d'abaissements produits par les retenues supérieures, et ce n'est qu'après ce premier travail, dont on devra s'occuper avec la plus scrupuleuse atten-

tion, qu'on sera en mesure de se rendre compte des capacités qu'il conviendra d'attribuer aux réservoirs temporaires formés dans les plaines basses par les digues transversales. Ces réservoirs, produisant à leur tour une nouvelle dénivellation des eaux, on parviendra ainsi à réduire la portée des inondations à une hauteur qui n'aura plus rien de menaçant, et contre laquelle les digues longitudinales elles-mêmes pourront alors lutter avec efficacité; car il ne faut pas oublier que dans la première section de ce chapitre, nous avons reconnu qu'il pourrait y avoir des cas dans lesquels ces digues devraient être maintenues. Mais sous l'influence des modifications introduites dans le régime des inondations par les travaux que nous proposons, presque tous les vices du système longitudinal auront disparu, parce que d'abord, au lieu d'être obligé, comme nous le sommes aujourd'hui, de procéder à des exhaussements successifs, on pourra, au contraire, porter le couronnement des digues à des niveaux beaucoup plus bas, parce que en second lieu cette opération permettra d'employer les terres en excès à élargir et à consolider leur massif; parce qu'enfin, dans ces conditions d'un abaissement et d'une consolidation notables, les chances de destruction disparaîtront dans une forte proportion, et qu'au cas même d'une rupture, les effets consécutifs à cet accident seraient diminués de toute la hauteur dont on aurait fait descendre le sommet des digues, et seraient promptement limités par les retenues formées par les obstacles transversaux.

Ces détails sont de nature à faire entrevoir que,

dans les vallées où le très-ancien établissement des digues longitudinales, et les modes de culture qui s'y sont développés à la suite, pourraient mettre l'administration dans la nécessité de maintenir ces ouvrages, le système futur de cet endiguement cesserait du moins d'être la cause la plus efficace des désastres qui se produisent; ce système ne serait plus qu'un diminutif, une représentation à échelle très-réduite de celui qui existe de nos jours; et si, après un examen sérieux et de mûres délibérations, il est reconnu que l'intérêt même des terres riveraines exige le maintien de ce vestige des temps passés, tout en regrettant que la nature de ces travaux ne permette pas d'utiliser les fertiles engrais des crues, on aura du moins la consolante certitude qu'ils donneront au sol ce qui lui a toujours manqué jusqu'à présent, une suffisante protection contre la violence des eaux.

Nécessité d'en établir dans tous les cas en amont et en aval des grands centres de population.

Mais, quoi qu'il en soit de la réduction que les réservoirs établis dans les régions montagneuses des bassins pourront introduire dans les travaux de la plaine, on ne perdra pas de vue que d'immenses intérêts sont groupés dans les villes, et qu'à tout prix il faut les défendre. Serait-on conduit à cette conclusion que des réservoirs temporaires seraient peu nécessaires dans les parties moyennes et basses des vallées, que, même dans ce cas, la prudence devrait faire un devoir d'en pratiquer en amont et en aval des villes; il peut y avoir dans les conceptions hu-

maines les mieux combinées quelques oublis, comme, dans les phénomènes naturels les mieux étudiés, quelques écarts contre lesquels ce serait une grande faute de ne pas se mettre en garde, et qu'il convient d'équilibrer par le contre-poids d'un excès de prévisions. Deux réservoirs de 4 kilomètres de long sur 1 kilomètre 1/2 de large, placés sur les rives d'amont d'une ville, deux autres pareils placés en aval, pourront recevoir, sur 1^{m},50 de hauteur, 36 millions de mètres cubes d'eau et diminuer, à un moment donné, l'écoulement du fleuve de 1000 mètres cubes par seconde; la conséquence presque immédiate de l'emploi de cette ressource sera un abaissement de niveau du fleuve, à la traversée de la ville, d'environ 1 mètre; amélioration importante, qui se prolongera pendant une durée de près de 10 heures. Les mêmes mesures, reproduites sur cinq ou six emplacements convenablement distancés entre eux et dont on saura habilement combiner la mise en œuvre, seront probablement suffisantes pour mettre désormais à l'abri du fléau l'ensemble des richesses agricoles, commerciales et industrielles qui existent le long de nos grands fleuves, et donner aux populations des campagnes et des villes une sécurité qui est devenue de plus en plus précaire à mesure que les couronnements des digues se sont élevés davantage au-dessus du sol qui les entoure.

CHAPITRE VI.

APERÇU SUR QUELQUES CAUSES PARTICULIÈRES SUSCEPTIBLES D'EXERCER UNE INFLUENCE SUR LES ÉCOULEMENTS D'EAU A LA SURFACE DE LA TERRE, ET SUR DIVERSES MESURES PROPOSÉES POUR COMBATTRE LE FLÉAU DES INONDATIONS.

PREMIÈRE SECTION.

Études sur les modifications introduites dans l'écoulement des eaux par quelques travaux exécutés de main d'homme.

Nécessité de procéder à l'examen des diverses idées émises en matière d'inondations.

Dans ce qui précède, nous avons traité dans son ensemble l'important problème des écoulements d'eau consécutifs à la chute de la pluie; nous avons ensuite porté plus spécialement notre attention sur les débits des grandes crues, et sur les débordements qui en sont la conséquence; nous avons cherché à nous rendre compte de ce qu'il y a d'avantageux et de nuisible dans le passage de ces vastes amoncellements de liquide; nous avons étudié dans ses bases et dans ses conséquences le système des digues longitudinales, seule barrière qu'on ait opposée jusqu'à ce jour à l'intumescence des fleuves; nous avons en-

fin exposé nos idées sur les divers ouvrages qu'il nous paraîtrait convenable d'exécuter, soit pour détruire les fâcheux effets des crues, soit pour tirer profit de leurs avantages. Il nous resterait maintenant, pour compléter cet ensemble de travaux, à traiter la question importante des dépenses, et celle non moins importante des voies et moyens. Mais il manquerait à nos études un complément indispensable, si nous nous bornions à remplir ce programme sans aucune addition. Il ne suffit pas, en effet, dans la question qui nous occupe, de montrer que ce qui a été exécuté est incomplet et dangereux; il ne suffit pas de prouver que nos propositions sont rationnelles en principe, utiles et réalisables dans la pratique, il faut de plus étudier avec quelques détails les diverses idées mises en avant au sujet des inondations et des moyens de les combattre; il faut voir si, parmi ces idées, il n'y en aurait pas quelques-unes qui pourraient être appliquées avec succès, s'il n'y en a pas d'autres qui, quoique bonnes au fond, doivent être rejetées, à cause de l'excessive dépense qu'entraînerait leur réalisation; si enfin on n'en trouve pas dans le nombre qui ajouteraient un danger de plus à ceux qui existent déjà. Ce n'est qu'après un examen approfondi de ces matières qu'il nous sera permis, en toute connaissance de cause, de poser nos dernières conclusions et d'ajouter aux développements que nous avons produits sur l'utilité de notre système ceux qui se rattachent à ses exigences financières et aux mesures à prendre pour leur donner satisfaction.

Les dernières inondations qui ont désolé la France

ont jeté de grandes préoccupations dans les esprits; on a passé en revue tout ce qui, de près ou de loin, se rattache à la question des écoulements à la surface du sol; les uns ont porté leur attention sur les opérations de drainage qu'ils ont considérées comme devant précipiter le cours des eaux, les autres se sont plaints au contraire des retards que les barrages construits sur nos rivières opposent à leur écoulement; on a parlé à ce sujet, avec plus ou moins d'à-propos, des puits artésiens, des travaux des mines, de ceux des chemins de fer et des canaux, etc., etc. Il nous serait difficile d'entrer dans l'examen de toutes les idées qui ont été émises à ce sujet, d'abord parce que c'est le plus souvent avec beaucoup de vague qu'elles ont été présentées, en second lieu, parce que plusieurs d'entre elles ne reposent sur aucun fait sérieux, sur aucun principe rationnel.

Nous nous bornerons ici à discuter seulement celles de ces observations qu'il y a intérêt à prendre en considération, soit pour dissiper les fausses terreurs qu'elles ont pu inspirer, soit pour mettre à profit les conséquences utiles qui s'y rattachent.

Les inondations sont-elles plus fréquentes et plus intenses aujourd'hui qu'autrefois?

Cette question nous paraît devoir être examinée avant toutes les autres, non-seulement parce que c'est une de celles qui ont eu le plus de retentissement, mais encore parce qu'elle a été le point de départ d'une foule de recherches plus ou moins sérieuses, d'explications plus ou moins acceptables,

d'assertions plus ou moins hasardées sur les causes des inondations. A en croire la majorité du public, il faudrait admettre que, de notre temps, nous sommes plus fréquemment et plus violemment inondés que dans les siècles précédents. Cette opinion une fois accréditée dans les masses, chacun s'est mis en quête des motifs propres à la justifier, et il n'est pas un seul des faits relatifs à l'exploitation agricole ou industrielle du sol par l'homme qui n'ait été invoqué en faveur de cette idée préconçue : les progrès de la culture qui ont multiplié, dit-on, les moyens d'écoulement, les travaux des puits artésiens, ceux de l'exploitation des mines, le drainage des terres humides, la construction des barrages dans le lit des rivières, la destruction des forêts ont été tour à tour ou simultanément pris à partie dans cette grande affaire des inondations, et signalés comme autant de causes propres à aggraver le mal.

Si tout cela était vrai, la conclusion à en tirer serait désolante et terrible; car il faudrait, ou bien renoncer à conjurer le danger, et même s'attendre à le voir grandir de jour en jour; ou bien, si on voulait le faire disparaître, supprimer les améliorations agricoles, les puits artésiens, l'exploitation des mines, le drainage, la navigation de nos fleuves, et remplacer nos champs de blé et nos prairies par des forêts; c'est-à-dire que, remontant le cours des âges, l'humanité n'aurait rien de mieux à faire que de se dépouiller de sa civilisation pour revenir à ces époques de barbarie où l'homme cherchait ses moyens de subsistance, moins encore dans les entrailles fé-

condes de la terre que dans la destruction de son semblable; car une nation qui n'est ni assez agricole, ni assez industrielle, devient fatalement aggressive.

Heureusement, et nous avons hâte de le dire, rien de tout cela n'est vrai.

De ce que les progrès de la culture multiplient les moyens apparents d'écoulement, il ne s'ensuit pas, et c'est là l'important, qu'ils augmentent le volume des eaux écoulées; nous ferons voir qu'au contraire ils favorisent l'absorption et diminuent l'intensité des courants superficiels.

Si le perfectionnement des procédés de sondage doit avoir pour résultat d'augmenter le nombre des puits artésiens, par une heureuse compensation, il nous permettra en même temps de multiplier celui des puits absorbants.

Dans les travaux souterrains des mines, dans les opérations de drainage, nous ne devons voir autre chose que la création de réservoirs modérateurs pour les crues.

Nos barrages si utiles, si indispensables pour la navigation, peuvent, d'une part, être établis dans des conditions inoffensives pour le relèvement des eaux, et ils ont, d'autre part, dans beaucoup de cas, une grande utilité, soit pour amortir les vitesses, soit pour faciliter le colmatage des terres basses.

Enfin le déboisement, contre lequel on a tant récriminé, qui a été si souvent, si vivement attaqué par les esprits d'élite, aussi bien que par l'ignorance, le déboisement. jusqu'à ce jour, a été un bien plutôt qu'un mal : il a augmenté la production de la

terre, en même temps qu'il a diminué le ravage des eaux.

Qu'on se rassure donc : le phénomène des inondations n'aura pas le triste privilége d'être un temps d'arrêt pour la civilisation ; il fera mieux au contraire : il en développera rapidement les progrès, le jour où d'intelligents travaux viendront à la fois combattre la violence de ses excès et nous assurer la jouissance de ses bénéfices.

Nous examinerons tout à l'heure, avec l'attention qu'elles méritent, chacune des circonstances que nous venons d'énumérer, et il ne nous sera pas difficile de faire comprendre combien d'incertitudes, combien d'erreurs on a gratuitement introduites à ce sujet dans le débat.

Mais ce qui doit à juste titre exciter notre surprise, c'est qu'avant de chercher à expliquer pourquoi les inondations seraient aujourd'hui plus fréquentes et plus intenses qu'autrefois, on ne se soit pas demandé si le fait lui-même est certain ; s'il est réellement constaté par l'histoire et la statistique que l'élément liquide sévit de nos jours sur nos terres plus souvent et plus violemment que dans les siècles passés. Or, nous devons l'avouer, si nous avons à plusieurs reprises entendu formuler cette assertion, nous en sommes encore à attendre qu'elle soit justifiée ; et, ni dans les discours très-fréquents, ni dans les écrits assez rares qui ont traité des inondations, nous n'avons pu rencontrer une preuve qui fût de nature à établir la vérité du fait. Celui-ci a toujours passé pour évident, il n'a jamais été prouvé.

L'homme est ainsi fait qu'il perd facilement les traces des choses passées ; de sorte que sans l'histoire qui en conserve le dépôt pour les esprits studieux, et surtout sans la tradition qui les transmet aux masses, l'ensemble des faits qui, à une époque quelconque, constituerait le contingent des souvenirs populaires, se bornerait à une faible collection d'événements contemporains, dont l'existence remonterait rarement au delà d'un demi-siècle.

Or, si l'histoire et la tradition se sont beaucoup occupées des actions des hommes et de la vie des peuples, elles ont mis moins d'empressement à enregistrer les phénomènes naturels. Qui parle en effet aujourd'hui des crues survenues dans les seizième, dix-septième et dix-huitième siècles? quelques érudits, en très-petit nombre, qui, à force d'investigations, sont parvenus à nous en donner une nomenclature assez étendue, mais très-probablement encore incomplète. Aussi, dans la masse du public, c'est à peine si on s'entretient, pour chaque fleuve, d'un ou deux de ces événements qui, dans les temps antérieurs, se sont fait remarquer par des intensités inaccoutumées.

Qu'on ne perde pas de vue qu'il n'y a guère que quatre-vingts ans que les observations météorologiques ont pris quelque importance en France, et qu'elles ont été entreprises ailleurs qu'à Paris. Il est donc certain, qu'à part un très-petit nombre d'exceptions, la statistique des faits météorologiques des siècles passés manque. Les recherches faites depuis quelques années dans les mémoires du temps, dans

les chroniques, dans les dépôts d'archives, ont essayé de combler cette lacune, et elles y ont réussi en partie ; mais ce sont là des investigations encore inachevées et dont les résultats, tant s'en faut, n'ont pas pénétré dans la masse du public, tandis que le souvenir des inondations contemporaines est présent à tous les esprits.

Lors donc que ce public veut établir une comparaison entre les faits de son époque qu'il a vus et dont il se souvient, et ceux d'autrefois, dont quelques traces à peine ont été conservées, se peut-il, nous le demandons, qu'il ne soit pas conduit à croire avec beaucoup de bonne foi que notre siècle est à coup sûr plus maltraité que les siècles précédents ?

Il n'est pas inutile d'ailleurs de remarquer à cet égard que si les avaries produites aujourd'hui, le long de nos fleuves, paraissent plus fréquentes et plus graves, c'est que le nombre des ouvrages construits sur ces fleuves a considérablement augmenté, et que les chances de destruction par les mêmes causes doivent s'accroître avec ce nombre. Disons aussi que la publicité des faits actuels a reçu un immense développement. Ajoutons enfin que le nombre des intéressés, et par conséquent celui des victimes, s'est accru dans une proportion considérable, non-seulement parce que nous avons aujourd'hui plus de commerce et d'industrie qu'autrefois, non-seulement parce que la surface des terres cultivées est plus étendue, mais encore et surtout parce que la division du sol a plus que décuplé le nombre

des propriétaires en France. Or, lorsque les événements sont plus facilement connus, plus souvent racontés, plus rapprochés de nous, lorsque les intérêts qu'ils peuvent favoriser ou détruire sont plus multipliés, est-il surprenant qu'ils produisent plus d'impression dans une nation et qu'on soit disposé à leur attribuer comparativement, en nombre et en intensité, une importance exagérée?

Telles sont les causes très-réelles, selon nous, et les seules causes, à vrai dire, auxquelles il faut attribuer la croyance générale dont nous nous occupons ici; car, lorsque abandonnant ces vagues aperçus, ces impressions peu réfléchies, on entreprend une étude consciencieuse des faits, on ne trouve plus rien qui justifie cette croyance, et on est plutôt conduit à croire que c'est dans une opinion contraire qu'il faut chercher la vérité. C'est ce dont nous allons essayer de convaincre le lecteur.

Occupons-nous d'abord de ce qui concerne la fréquence.

Les inondations de la Seine sont sans contredit celles dont on trouve le plus de mentions dans l'histoire, et qui sont par conséquent le mieux connues. Dans le dix-septième siècle, on en compte onze qui ont eu lieu dans les années suivantes : 1609, 1616, 1647, 1649, 1651, 1658, 1663, 1665, 1667, 1690, 1693; c'est donc une inondation tous les neuf ans.

Dans le dix-huitième siècle, le nombre est à peu près le même, douze au lieu de onze; elles sont survenues, savoir : en 1711, 1719, 1725, 1726, 1733,

1740, 1751, 1762, 1764, 1782, 1784, 1799; dont six de 1701 à 1750 et six de 1751 à 1800.

Si donc il est vrai que les inondations sont devenues plus fréquentes aujourd'hui, il faudrait que, dans la première moitié du siècle actuel, on en comptât plus de six. Or, c'est précisément à ce chiffre que s'arrête leur nombre; elles ont eu lieu en 1802, 1807, 1820, 1823, 1826, 1850; dont quatre dans le premier quart et deux dans le second.

Ces résultats, il faut en convenir, ne sont nullement favorables à l'opinion que nous sommes plus souvent inondés aujourd'hui qu'autrefois; ils constatent, au contraire, dans la fréquence, une remarquable régularité.

A Lyon, il y a eu, dans le dix-huitième siècle, onze inondations bien constatées. Ce nombre se rapproche beaucoup de celui des inondations de la Seine dans la même période, et peut-être de nouvelles recherches rendront-elles ce rapprochement plus grand encore. Ces inondations ont été observées en 1706, 1711, 1726, 1733, 1755, 1762, 1782, 1783, 1787, 1789, 1799.

Pour peu que cette énumération soit incomplète, on arriverait encore ici à six inondations en moyenne par demi-siècle. Or, telle est, à une unité près, le nombre de celles qu'on a observées de 1801 à 1850, dans les années suivantes : 1801, 1812, 1825, 1830, 1836, 1840, 1843. Elles sont d'ailleurs distribuées aussi proportionnellement que possible pour chaque période de vingt-cinq ans.

Le phénomène, au point vue de la fréquence, n'a

donc pas présenté moins de régularité à Lyon qu'à Paris.

Des faits complétement identiques existent pour la Loire. Sur ce fleuve treize inondations sont signalées dans le cours du dix-huitième siècle, savoir : en 1707, 1709, 1710, 1711, 1726, 1733, 1755, 1762, 1765, 1782, 1789, 1790, 1799. Six ont eu lieu dans la première moitié, sept dans la deuxième, soit six et demie par demi-siècle. Or, les débordements survenus de 1801 à 1850 ne dépassent ce nombre que d'une demi-unité; on en compte sept observés dans les années suivantes : 1804, 1807, 1810, 1823, 1825, 1841 et 1846.

Si, pour ce dernier fleuve, trois crues ont été signalées dans le court intervalle de sept ans, compris entre 1804 et 1810, et si ce fait a pu confirmer les idées dans la croyance à des invasions plus fréquentes, nous ferons remarquer qu'une circonstance analogue et plus caractéristique encore s'est produite sur ce fleuve dans le dix-huitième siècle, car dans les cinq années comprises de 1707 à 1711 on a compté jusqu'à quatre inondations.

Les renseignements nous manquent pour ce qui concerne la fréquence des crues de la Garonne; mais il résulte très-évidemment, des détails dans lesquels nous venons d'entrer, que pour trois de nos principaux fleuves : la Seine, le Rhône et la Loire, le nombre moyen des inondations par siècle est très-sensiblement constant; il est compris, pour le passé, entre onze et treize au moins; nous disons au moins, parce que de nouvelles recherches pourront accroître ce nom-

bre. Quant aux débordements de la première moitié de notre siècle, ils sont enregistrés dans nos statistiques et parfaitement connus. Or, leur nombre proportionnel n'étant pas plus grand que celui des siècles passés, on doit en conclure que l'opinion, qui attribue aux inondations plus de fréquence, manque de base, et qu'elle n'a pu prendre sa source que dans de vagues et fausses appréciations plutôt que dans la réalité des faits.

Passons maintenant à l'examen des intensités. Ici encore nous trouverons que, sauf l'influence qu'il faut attribuer à l'extension déplorable qu'ont reçue les endiguements longitudinaux, il n'est pas vrai de prétendre que la violence et la hauteur des crues ont suivi une progression croissante.

Si déjà on se trouve en présence de quelques incertitudes lorsqu'il s'agit d'apprécier la fréquence des inondations, les difficultés augmentent lorsqu'il est question de se rendre compte de leurs intensités. Citons à ce sujet les observations très-fondées de M. l'inspecteur général Dupuit[1] :

« Le volume des crues a, sur leur hauteur, une « influence directe qui n'est pas contestable ; mais, « ce qui est très-contestable, selon nous, c'est que ce « volume soit aujourd'hui beaucoup plus considé- « rable qu'autrefois.

« Faisons remarquer que cette hauteur toujours « croissante des inondations n'est pas un fait direc-

[1] *Études théoriques et pratiques sur le mouvement des eaux courantes*, p. 193 et suivantes.

« tement prouvé. Tout ingénieur qui a eu à recueil-
« lir des renseignements sur la hauteur d'une crue
« sait combien il est difficile d'obtenir quelque chose
« d'exact et de précis. Les populations effrayées exa-
« gèrent les dangers auxquels elles ont été exposées
« et les désastres dont elles ont été victimes, de sorte
« qu'on a beaucoup de peine à démêler la vérité, au
« milieu d'assertions contradictoires. Lors donc qu'on
« vient comparer une crue récente avec une crue an-
« cienne, on se trouve placé entre l'incertain et l'in-
« connu. Mais admettons qu'on ait des points de
« repère bien précis, qu'il soit parfaitement constaté
« que les dernières crues ont dépassé toutes celles
« connues depuis un siècle, est-on en droit d'en con-
« clure logiquement qu'il y a un changement de ré-
« gime dans le cours d'eau ? Nous ne le pensons pas.
« Un grand cours d'eau n'est que la réunion d'autres
« cours d'eau moindres, composés eux-mêmes de
« cours d'eau plus petits, et ces cours d'eau ne sont
« pas tous influencés par les mêmes causes, de sorte
« que leurs crues ne coïncident pas nécessairement ;
« mais rien ne s'oppose à ce qu'elles ne coïncident en
« plus ou moins grand nombre. Le volume d'eau qui
« passera à un point donné pourra être considéré
« comme le produit de tous les affluents arrivés à
« un certain point de crue. Son maximum ne sera
« donc atteint qu'autant que ces affluents le lui ap-
« porteront simultanément.

« Or, si on réfléchit au grand nombre d'affluents
« qui alimentent la partie inférieure d'un fleuve, et
« au petit nombre de crues qui se reproduisent an-

« nuellement, on en conclura que, pour étudier « par la simple observation le phénomène des crues, « il faudrait embrasser des siècles entiers. Or, qu'a-« t-on fait jusqu'à présent pour constater que ces « événements sont devenus plus probables par un « changement dans les conditions primitives du phé-« nomène? Où sont ces anciens repères, ces anciens « registres où les faits, toujours comparables entre « eux, ont été consignés avec un soin intelligent, en « vue de prouver un résultat auquel on ne s'atten-« dait pas alors? Quant aux témoignages historiques « qu'on apporte à l'appui de cette opinion [1], ils sont « sans aucune valeur pour l'ingénieur qui a pu étu-« dier le régime d'un fleuve sur des tables journa-« lières un peu étendues. Ainsi, par exemple, la « Loire a atteint, à l'échelle du pont de Saumur, la « cote 6^{m},20 en 1799, et, l'année suivante, le zéro « de l'échelle; quarante-quatre ans se passent sans « reproduire la première cote, et tout à coup, en « 1843, elle est dépassée de 0^{m},50. Quant à l'étiage, « il n'a pas encore reparu. Dans cet intervalle, neuf « ans consécutifs s'écoulent sans que les eaux attei-« gnent la cote 5 mètres; en 1832, la plus forte crue « ne dépasse pas 2^{m},62. Si donc aujourd'hui on re-« trouvait une table des hauteurs journalières de la « Loire, ou de tout autre fleuve, tenue très-exacte-

[1] L'auteur fait ici allusion à ce passage de l'empereur Julien, parlant de la Seine : *Rarò fluvius minuitur ac crescit ; sed, qualis æstate, talis esse solet hieme*. Notons que Julien n'a passé que cinq ou six ans dans la Gaule, pendant lesquels la guerre l'appela souvent au delà du Rhin.

« ment et pendant dix ans par un lieutenant de « César ou de ses successeurs, il faudrait se garder « d'en tirer une conclusion quelconque sur le ré- « gime du fleuve durant les premiers siècles de l'ère « chrétienne; mais il ne s'agit ni de table, ni de « hauteur, ni de rien de précis; il n'est question que « de quelques membres de phrases écrits par des « empereurs romains qui décrivaient le pays sur « lequel s'étendait leur domination en historiens et « non en physiciens. Ainsi, selon nous, le fait de « l'augmentation successive des crues n'est pas di- « rectement prouvé et ne pourra l'être de bien long- « temps. »

Interrogeons maintenant tout ce qu'il est permis de considérer comme authentique dans les faits relatifs aux hauteurs des inondations.

Et d'abord les plus fortes crues de la Seine, à Paris, dans le dix-septième siècle, ont eu lieu en 1615 et 1658; leurs hauteurs respectives ont été de 9^{m},14 et de 8^{m},80. Depuis cette époque, non-seulement elles n'ont pas été dépassées, mais même elles n'ont pas été atteintes: ainsi, dans le dix-huitième siècle, la crue la plus redoutable est celle de 1740, et elle n'est montée qu'à 7^{m},90. Cette hauteur, à son tour, est restée au-dessus de celles des inondations postérieures. La plus élevée de ces dernières, observée en 1802, s'est arrêtée à 7^{m},45, et, depuis cette époque, la cote 6^{m},66 n'a pas été dépassée. Cet ensemble de faits, le plus authentique de ceux qu'on peut invoquer en cette matière, constate donc une diminution graduelle des plus remarquables, diminution qui,

pour le dire en passant, est de nature à contredire les idées généralement admises sur les effets du déboisement.

Sur la Garonne, l'inondation de 1770, mesurée à Agen par une hauteur de 10m,56, n'a pas été dépassée depuis cette époque. La plus forte crue des temps modernes, en 1855, s'est arrêtée à 9m,77.

« La fin du dernier siècle, dit M. Baumgarten, a « été, pour la Garonne, plus remarquable par les « crues élevées que ces derniers temps, quoique au- « jourd'hui il y ait dans la plaine une plus grande « quantité de mattes et de digues qui resserrent le « champ des inondations et tendent à en élever le « niveau et que nos montagnes soient plus déboisées « qu'il y a soixante et soixante-dix ans. » Nouveau fait également contraire à l'influence modératrice attribuée aux forêts.

Le Tarn, à Montauban, s'est élevé en 1773 à 10m,21; le Lot, à Cahors, est monté en 1783 à 9m,03. Aucun débordement depuis ces époques n'a atteint ces niveaux exceptionnels.

Le Rhin, à Cologne, a atteint, le 28 février 1784, l'énorme hauteur de 12m,40. Toutefois, nous devons dire qu'il existe quelque doute sur ce résultat, qui paraît en effet excessif. Mais, en lui appliquant une forte diminution et le faisant descendre jusqu'à la cote 10 mètres, on serait encore bien au-dessus des hauteurs observées plus tard, puisque la plus considérable de ces hauteurs, obtenue le 26 décembre 1819, n'a été que de 8 mètres.

Depuis l'année 1711, où les eaux de la Saône

montèrent à $6^{m},80$ à l'échelle de Châlons, cette hauteur n'a jamais été atteinte.

Nous n'avons pas de chiffres à présenter au lecteur pour les autres rivières de France et d'Europe, mais nous savons en particulier que si, en 1824, Saint-Pétersbourg a vu les eaux de la Newa envahir ses rues et ses maisons et occasionner de grands désastres, l'inondation de 1777, dans la nuit du 9 au 10 septembre, fut autrement terrible : pendant plusieurs heures elle menaça l'existence de la ville entière.

Cet imposant ensemble de documents ne laissera aucun doute, nous l'espérons, dans l'esprit du lecteur. A l'ouest comme à l'est, dans le nord, dans le centre, dans le midi de la France, partout, en un mot, une diminution s'est fait remarquer dans la hauteur des eaux, diminution toujours très-sensible et quelquefois très-importante, diminution qui est de nature à dissiper des inquiétudes exagérées, et qui, nous devons le répéter, sans toutefois nous appesantir ici sur ce sujet qui, dans la suite, sera plus amplement développé, fera tout au moins suspecter, si elle ne la détruit pas entièrement, l'opinion que les déboisements ont été une opération funeste.

Il y a cependant une ombre à ce tableau; les rivières bordées de digues longitudinales viennent en effet se poser ici comme une fâcheuse exception. Hâtons-nous de dire que ce sont les seules, et puissions-nous du moins, dans les faits qui s'y rattachent, trouver une nouvelle et éclatante condamnation de ce dangereux système de travaux!

Dans la nomenclature qui précède, nous n'avons

pas parlé des eaux de la Loire ; c'est qu'en effet les crues actuelles semblent vouloir l'emporter en intensité sur leurs aînées, sinon dans toute l'étendue de la vallée, du moins sur quelques points. En décembre 1755, ce fleuve s'éleva à Tours à 7m,40 au-dessus de l'étiage : c'est la plus grande hauteur mentionnée dans l'histoire. Or, si en 1846 elle n'a pas été atteinte, les eaux s'étant arrêtées à 7m,15 [1], il est probable que, sans une circonstance exceptionnelle, il n'en aurait pas été de même en 1856. En effet, le 3 juin, à une heure et demie de l'après-midi, la hauteur signalée était de 7m,25 ; le fleuve montait toujours, lorsqu'une rupture des digues voisines, survenue vers deux heures, amena une dépression subite de niveau : les eaux descendirent à 6m,90. Mais à Saumur les faits sont autrement caractéristiques et ne laissent pas de place au plus léger doute. Dans cette ville, la crue de 1799, la plus forte de celles qui y aient été mesurées dans les temps passés, est montée à 6m,20. Or, pendant une crue survenue en 1843, et qui a été relativement faible en amont, ce niveau a été dépassé de 0m,50. M. l'inspecteur Dupuit rend parfaitement compte des causes auxquelles il faut attribuer ce résultat, et l'on va voir qu'il ne faut pas les rechercher dans des modifications survenues dans l'action des forces naturelles, mais dans l'imprudence de nos travaux.

« A Saumur, dit-il, la Loire se divisait autrefois

[1] *Annales des ponts et chaussées*, année 1852, 1er semestre, planche 20.

« en six bras; la construction du pont de Cessart, « en 1770, les réduisit à trois, et celle du pont Na- « poléon à deux en 1820; depuis cette époque on a « pris encore sur le lit du fleuve l'emplacement d'un « quai fort large; la crue de 1843 a donc passé à « Saumur dans un lit complétement différent de ce- « lui de 1799; et aujourd'hui, si une crue revenait, « elle trouverait encore des lieux tout à fait diffé- « rents de ceux de 1843. En effet, sur une longueur « de 6 kilomètres à l'aval de Saumur, le chemin de « fer a été établi dans le lit des grandes eaux, qu'il « a sensiblement rétréci. Ce que nous disons de « Saumur, nous pourrions le dire pour d'autres lo- « calités : en descendant la Loire, nous rencontre- « rions partout de nouveaux ponts, de nouvelles « levées. »

Or, cette prévision de M. Dupuit en 1848 ne s'est que trop confirmée en 1856. Le remblai du chemin de fer, si malencontreusement disposé pour supprimer une partie de la section d'écoulement des hautes eaux, n'a pas manqué d'exercer la déplorable influence que cet ingénieur avait annoncée: le 4 juin, à huit heures du matin, les niveaux, dépassant ceux de 1799 et de 1843, avaient atteint 6m,90, et, deux heures après, la hauteur de 7 mètres était signalée.

Des faits analogues se sont reproduits pour le Rhône à Avignon, dans la partie endiguée de son cours, mais avec de plus fortes proportions; ainsi, tandis que dans les siècles précédents, la plus grande hauteur des eaux du fleuve a été, pendant l'inondation de 1755, de 6m,80 au-dessus de l'étiage, en no-

vembre 1840, les niveaux ont monté jusqu'à $8^m,30$; le mal n'a fait qu'augmenter depuis; car, d'après une dépêche de M. le préfet de Vaucluse, la crue de 1856 aurait dépassé de plus d'un mètre celle de 1840, malgré la rupture des digues à Tarascon.

Les données nous manquent pour d'autres parties de la France, mais les observations faites en Lombardie viennent confirmer avec une nouvelle force celles que nous venons de citer. Voici, en effet, le tableau des plus grandes crues du Pô, dans le dix-huitième siècle, mesurées à l'échelle de Ponte-Lagoscurò [1] :

DATES.	8 NOV. 1705.	4 NOV. 1719.	9 NOV. 1729.	6 MAI 1733.	23 OCT. 1755.	22 SEPT. 1772.	18 JUIN. 1777.	14 JUILL. 1799.
HAUTEURS.	6^m82	6^m84	7^m13	7^m27	7^m44	7^m63	7^m77	7^m81

Ce tableau montre avec quelle inflexible persistance l'exhaussement des eaux a suivi le développement donné aux travaux d'endiguement; en résumé, il accuse une surélévation d'un mètre en un siècle. Aussi M. Baumgarten ajoute-t-il, à la suite de l'exposé de ces résultats, l'observation suivante : « On voit « que la hauteur des crues a toujours augmenté, et « on doit l'attribuer surtout au perfectionnement « du système général des digues. Dans le siècle passé, « les digues étaient déprimées et mal conservées; « les grandes crues étaient toujours accompagnées

[1] *Annales des ponts et chaussées*, année 1847, 1er semestre, page 141.

« de ruptures qui abaissaient le plan des eaux. En « comparant les crues de 1801 et 1807, qui ont été « accompagnées de ruptures entre Dossolo et San « Benedetto, à celle du 8 novembre 1839, on voit « que, sans les ruptures, ces deux crues se seraient « élevées à San Benedetto de $1^m,20$ et $0^m,72$ de plus « qu'elles ne l'ont fait. »

L'importance de ces deux derniers nombres est de nature à fixer les idées sur le fâcheux développement que donnent les digues à l'intumescence des fleuves.

Concluons donc en résumé que, quant à la fréquence des inondations, elle n'est pas plus grande aujourd'hui que par le passé.

Quant à leur intensité, elle a toujours été en diminuant partout où l'on n'a pas introduit le système des digues longitudinales; mais, dans les vallées où ce système a été appliqué, il y a eu, comme conséquence de ces travaux, augmentation prononcée des vitesses et relèvement quelquefois excessif du niveau des crues.

Influence des progrès de la culture.

Il y a peu de personnes, parmi celles que j'ai eu occasion d'entretenir de mes idées sur les inondations, qui ne se soient récriées lorsque je leur ai dit que les terrains cultivés diminuaient plutôt qu'ils n'augmentaient les dégâts des inondations; c'est surtout dans la catégorie des agriculteurs que j'ai rencontré dès l'abord le plus de répugnance à admettre cette opinion. Tout a fini cependant par s'expliquer

lorsque je me suis aperçu et qu'ils ont reconnu eux-mêmes que la question n'avait pas été bien comprise.

Pour le cultivateur qui possède un terrain à l'abri du débordement des eaux, les dégâts des inondations ne sont pas, selon ses conceptions premières, ceux qui résultent de l'amoncellement des liquides dans les thalwegs et de la submersion qui en est la conséquence ; pour lui, ces dégâts sont ceux que causent dans son champ la chute et le passage de la pluie, avant de se rendre dans ces thalwegs. Or, il est incontestable que, lorsqu'on néglige de prendre les précautions nécessaires, et même malgré la mise en œuvre de quelques mesures protectrices, l'écoulement des liquides sur les terres cultivées, plus meubles, plus poreuses, plus divisées que celles qui ne sont pas soumises au travail de la charrue, il est incontestable, disons-nous, que cet écoulement doit y produire des effets de ravinement plus développés que partout ailleurs. Nous le répétons, pour le cultivateur qui n'a pas son terrain dans les vallées, voilà où est le mal ; le sentiment instinctif de l'intérêt personnel ne lui permet guère de le voir ailleurs, et, confondant l'effet avec la cause, l'inondation avec la pluie qui la produit, sa première pensée est de croire que la culture des terres contribue très-efficacement à l'augmentation des dégâts.

En second lieu, tant que le raisonnement n'est pas intervenu pour rectifier nos premières impressions, nous nous laissons très-facilement influencer par le témoignage de nos sens, qui n'est pas toujours parfaitement droit ; et, parce que nous voyons l'eau

courir dans les sillons et les rigoles d'écoulement de nos champs, parce que nous constatons qu'elle y produit quelques ravages, nous concluons immédiatement du présent au futur, du visible à l'inconnu, et nous attribuons aux écoulements ultérieurs un degré de violence en rapport avec celui qui se produit sous nos yeux.

Sur les prairies, au contraire, sur le sol battu des forêts, ces lignes d'écoulement spéciales, créées par la culture, n'existent pas; nous ne voyons plus là l'image plus ou moins saisissante d'un courant concentré; tout paraît plus calme sur ces terrains; le phénomène semble s'y développer avec moins de violence, et, en effet, les symptômes actuels qui s'y produisent sont moins destructeurs. Mais, au point de vue des inondations, ce ne sont pas ces symptômes, ce sont les effets qui leur seront consécutifs qu'il faut prendre en considération.

Que des étendues de même superficie soient couvertes de blé, de prairies ou d'arbres, elles n'en recevront pas moins, dans le même temps, des quantités égales de pluie. Or, l'important est de savoir, parmi ces diverses natures de culture, quelles seront celles qui transmettront le plus d'eau aux vallées. Le sillonnage artificiel qui ouvre des moyens d'évacuation, qui rend les écoulements plus apparents, peut bien d'abord faire naître dans notre esprit une illusion à cet égard ; mais, avec un peu de réflexion, nous comprendrons que les tranches d'eau qui, sur le sol des prairies et des forêts, coulent à l'état latent, pour ainsi dire, à cause de leur très-faible hauteur, ont

en compensation des dimensions telles en longueur et en largeur, qu'il se pourrait que, réunies, elles fournissent un volume supérieur à celui du liquide qui, visiblement du moins, nous paraît descendre avec plus d'abondance le long des rigoles des terrains cultivés.

Ce qu'il faut donc consulter en ceci, ce sont moins les apparences, si souvent trompeuses, des écoulements superficiels, que les effets respectifs de l'absorption, dans laquelle réside la véritable puissance pour diminuer les volumes. Or, cette même porosité, ce même état de division des terres, qui, dans les champs cultivés, sont la cause de quelques dégâts, contribuent avec beaucoup d'efficacité à favoriser l'absorption, soit en laissant intacte la perméabilité naturelle du sol, soit en présentant à la pluie une couche spongieuse plus épaisse qui en retient toujours et pendant un assez long temps une fraction importante; et comme cet état du sol n'existe pas, à beaucoup près, à un si haut degré, sur les surfaces herbées et sur le terrain battu des forêts, nous en conclurons que sur ceux-ci la diminution résultant de l'imbibition et de la filtration a moins d'importance, et que, par suite, l'écoulement superficiel acquiert une plus grande intensité totale.

On insiste cependant et on objecte que si les champs cultivés absorbent plus d'eau, les moyens d'évacuation qu'on y rencontre communiquent au liquide non absorbé des vitesses plus considérables et plus dangereuses. Cela serait vrai si ces lignes d'évacuation étaient dirigées dans le sens des plus fortes in-

clinaisons; mais, au contraire, les premières de ces lignes, les sillons de labourage, que les eaux de pluie doivent d'abord parcourir avant de se rendre aux rigoles et fossés d'égouttement, sont presque toujours fort rapprochées de l'horizontale et introduisent dans les écoulements une action sensiblement modératrice. Il n'en est pas de même sur les autres terrains, où les eaux, abandonnées à elles-mêmes, suivent naturellement les lignes de plus grande pente.

Ces développements nous paraissent suffisants en ce moment pour rectifier l'inexactitude de certaines idées; nous les reprendrons d'ailleurs avec plus de détails lorsque nous traiterons l'importante question de l'influence des forêts.

Quant au faucardement et au curage des cours d'eau, qui sont généralement si utiles aux progrès de la culture, il est certain que ce sont là des opérations qui contribuent à accélérer la vitesse des eaux. Mais si cette accélération est un mal quelquefois, elle est, au contraire, une chose très-utile dans d'autres cas. C'est une question que nous avons traitée avec beaucoup de détails dans le cinquième chapitre en parlant de la direction respective des affluents d'un même fleuve. Tout, dans cet ordre de considérations, dépend des circonstances locales. Il est donc difficile de se prononcer à cet égard et de savoir si, en définitive, le mal l'emporte sur le bien; peut-être s'établit-il entre ces divers effets une heureuse compensation. Mais en supposant qu'il n'en soit pas ainsi, qu'au point de vue des inondations

cette accélération des vitesses présente quelques inconvénients, comme, sous beaucoup d'autres rapports et pour la partie la plus étendue de notre territoire, elle a d'immenses avantages; comme, en voulant faire du bien à quelques-uns, on ne doit pas s'exposer à nuire à la majorité, il faudra bien se résoudre à la subir, sauf à en tenir compte pour le développement à donner aux ouvrages qui doivent protéger les vallées contre les débordements.

Influence des puits artésiens sur l'écoulement de surface.

Nous avons quelque peine à nous expliquer qu'on ait pu sérieusement se préoccuper de l'influence que les puits artésiens peuvent exercer sur l'écoulement des eaux. Ces ouvrages sont encore en si petit nombre, les quantités de liquide qu'ils fournissent, comparativement à celles de nos fleuves, sont si faibles que, pour nous servir d'une expression vulgaire, c'est à peine s'ils ajoutent une goutte d'eau à la rivière.

Le puits de Grenelle, le plus important de ceux qui aient été créés en France, ne fournit que 83/100 de mètre cube d'eau par seconde, c'est-à-dire la dix-millième partie de ce qui coule dans nos fleuves en temps de crue.

Nous ne connaissons pas pour l'année 1856 la statistique complète de ces puits, mais nous trouvons dans l'ouvrage *Patria* qu'en 1847 leur nombre ne s'élevait pas tout à fait à quatre cents, et comme c'est faire une large concession que d'admettre que cha-

cun d'eux débite en moyenne 1/10 de mètre cube, il s'ensuit que leur produit total ne versait pas à cette époque 40 mètres cubes de liquide par seconde sur la surface entière de la France. Or, comme cette surface occupe une étendue de 52,976,000 hectares, on en conclura que, dans le cours de l'année entière, le produit des puits artésiens, s'il était uniformément réparti sur le sol de notre pays, représenterait une tranche de 2 millimètres 4/10 au plus de hauteur; la tranche correspondante fournie par la pluie en occupe 719; de sorte que le produit des puits artésiens, comparé à celui de la pluie, n'en est que la trois-centième partie. Certes, il y a là de quoi se rassurer pour le présent. Mais, dira-t-on, l'avenir pourrait considérablement aggraver cet état de choses, et, à cet égard, certaines imaginations pourraient aller fort vite; essayons de les modérer par quelques aperçus. Ce qui nous fait croire que le percement des puits artésiens ne saurait se développer très-promptement, c'est, d'une part, un certain degré d'incertitude dans le résultat qu'on cherche à obtenir, et, d'autre part, une incertitude non moins grande sur le chiffre des dépenses; c'est aussi qu'en général, même alors que les circonstances sont favorables, l'établissement d'un puits artésien coûte fort cher. Il n'y a guère que la ville de Paris, en France, qui ait pu avoir l'idée et les moyens d'exécuter un puits à grand diamètre comme celui du bois de Boulogne; quelques grandes villes, quelques riches propriétaires peuvent seuls aborder les doubles éventualités qui se rencontrent dans les travaux de ce

genre, et s'il est vrai qu'il y a plus de tendance dans notre pays pour la division que pour la concentration des propriétés, on doit en conclure que l'augmentation des puits artésiens ne paraît pas appelée à suivre une marche très-rapide.

Mais alors même que les difficultés du travail et l'importance des dépenses éprouveraient, par suite des progrès des arts et de l'industrie, de notables diminutions, ce ne serait pas un motif de s'effrayer outre mesure. Tout ce qui rendra plus facile l'établissement des puits artésiens et l'apparition à la surface du sol des eaux souterraines apportera avec soi un correctif, et contribuera avec non moins d'efficacité à renvoyer dans les couches inférieures les eaux surabondantes de la superficie. En effet, si nous avons quelquefois besoin de nous procurer des eaux jaillissantes, très-souvent aussi nous comprenons la nécessité de nous débarrasser de l'excès de celles qui envahissent le dessus du sol. Pour se convaincre de cette vérité, il suffira de se rappeler que nous avons en France plus de 400,000 hectares de marais qui attendent le desséchement; or, si les puits artésiens sont un moyen d'amener au dehors les eaux souterraines, on peut espérer que les puits absorbants, c'est-à-dire ceux qui aboutissent à des couches très-perméables, sont un moyen non moins utile d'envoyer dans le sous-sol les eaux qui nous gênent à la surface. Tout perfectionnement qui rendra plus facile l'exécution des premiers permettra donc aussi de multiplier les seconds; de sorte qu'il est permis de prévoir que les compensations par voie de sous-

traction de liquide marcheront de pair avec les additions que peut nous réserver l'avenir.

Ajoutons qu'il résulte des principes théoriques sur lesquels est fondée la pratique des puits artésiens que le succès de ces sortes d'opérations exige qu'entre les nappes souterraines et la surface du terrain il existe des couches perméables, et que la totalité de ces couches soit traversée, tandis qu'il est très-suffisant pour les puits absorbants de les faire pénétrer jusqu'à une certaine profondeur seulement dans ces couches, ce qui diminue considérablement les difficultés et les dépenses et est très-favorable à la multiplication de ces procédés d'écoulement; tout concourt donc à dissiper des inquiétudes très-exagérées dans le présent et peut-être plus exagérées encore au point de vue de l'avenir.

Influence des travaux souterrains des mines.

Les fouilles profondes exécutées par les travaux de mines ne sont pas non plus de nature à engendrer de funestes conséquences. Sans doute, à la vue des puissantes machines qui sont quelquefois employées à retirer les masses d'eau souterraines accumulées dans ces profondeurs, on ne peut s'empêcher de céder à de fâcheuses impressions; toutefois, il y a des motifs suffisants de se rassurer, et non-seulement cette circonstance d'un écoulement créé à la surface du sol par nos puissances mécaniques n'est pas menaçante, mais on peut dire qu'au point de vue des inondations il y a dans ces réservoirs, créés par l'homme dans les entrailles de la terre, plus

d'utilité que de dangers. Peu importe, en effet, que dans le cours de l'année le volume de liquide ramené à la surface soit considérable ; nos fleuves ne sont pas assez riches en été pour qu'un excès d'eau ne leur soit pas plutôt favorable que nuisible. Or, il suffit de remarquer que la nature de l'écoulement que nous considérons ici est produite par une machine, c'est-à-dire par une cause régulière et sensiblement constante, beaucoup plus constante que ne l'est la chute de la pluie, pour comprendre de prime abord que les effets de la première seront, pendant le cours de l'année, une sorte de moyenne entre les minima et les maxima des effets de la seconde ; que, par conséquent, les écoulements des mines produiront plus que la pluie dans le temps des sécheresses et donneront moins qu'elle aux moments des forts orages. Tout l'excès d'eau qui sort des mines en été doit donc être compté en moins pour l'époque des crues, et c'est ainsi que nous avons pu dire que ces profondes excavations offrent plutôt des garanties que des dangers : ce sont de véritables réservoirs dans lesquels s'accumule une partie des eaux d'orage et qui ne seront vidés que plus tard, après que les grands écoulements de la surface auront disparu. Il est impossible, en effet, d'admettre que des terrains au-dessous desquels existent des mines ne soient pas plus perméables qu'ils ne le seraient dans leur état naturel ; les puits, les descenderies, les chemins et les chambres intérieurs sont autant de facilités ouvertes à l'introduction des eaux ; il en est de même des fissures plus ou moins grandes qui, par suite des

vides souterrains, se produisent infailliblement à la surface. L'eau est donc recueillie par ces terrains en plus grande abondance à l'époque des grandes pluies, et comme la puissance qui l'élève n'est pas indéfinie, que le débit qu'elle peut produire a des limites fixes, les bassins sous-jacents atteignent alors des niveaux de plus en plus élevés, et soustraient ainsi à l'écoulement général du moment tout l'excès de leur remplissage. Cette cause d'inquiétude doit donc encore disparaître.

Influence des opérations de drainage.

Nous pouvons faire, au sujet du drainage, des observations analogues à celles que nous avons présentées pour les puits artésiens et pour les travaux des mines.

Et d'abord, pour ce qui concerne le présent, le nombre d'hectares drainés en France est peu considérable; nous ne pensons pas qu'on puisse l'évaluer à plus de 30,000. Or, si l'on considère qu'au point de vue hydraulique la France peut être divisée en six grandes régions, savoir : celle de la Garonne, celle du Rhône, avec quelques petits bassins méditerranéens, celle de la Loire, de la Saône, de la Seine, et enfin les régions du nord comprenant les bassins du Rhin, de la Meuse, de la Sambre et de la Somme, on en conclut qu'en moyenne il n'y a guère aujourd'hui que 5,000 hectares drainés dans chacune de de ces grandes divisions, c'est-à-dire la dix-huit centième partie environ de leur surface. Cela posé, si l'on remarque que les grandes crues de nos fleuves

sont mesurées par des volumes d'eau qui atteignent un maximum de 10,000 à 11,000 mètres cubes, et si l'on admet le cas le plus défavorable, c'est-à-dire celui dans lequel les terres, avant le drainage, garderaient toute l'eau de pluie qui tombe sur elles, et, après le drainage, n'en garderaient rien, on trouve, dans cette supposition extrême, que l'écoulement des 10,000 à 11,000 mètres cubes recevrait, à la suite de ces opérations d'asséchement, l'insignifiante augmentation de 6 mètres cubes. Un si faible résultat ne mérite certainement pas d'être pris en considération.

Mais si, comme on l'a dit dans la discussion de la loi sur le prêt de 100 millions en faveur du drainage, il est vrai que le nombre d'hectares susceptibles d'être drainés en France s'élève au chiffre énorme de 6 millions, nos conclusions ne seront plus les mêmes, puisque, après l'achèvement complet de cette vaste opération, le nombre de mètres cubes qui, dans l'hypothèse que nous avons admise, s'ajouterait au maximum des crues pourrait s'élever de 1200 à 1500. Ce chiffre a donc de l'importance et ne doit pas passer inaperçu. Il est certain que, si les choses devaient se passer comme nous venons de le dire, il y aurait là un danger, et il faudrait le conjurer. Mais on ne perdra pas de vue que cette conclusion est subordonnée à la supposition que nous avons faite, qu'avant le drainage, les terres ne laissent rien couler de l'eau de pluie qu'elles reçoivent, tandis qu'après elles la rendent toute. Or, il importe d'autant plus d'approfondir cette question, qu'une

grande partie du public pense que telle est en effet la marche des phénomènes.

Pour éclairer les idées à cet égard, faisons pour le drainage ce que nous avons fait pour les crues, et ne raisonnons sur cette matière qu'après l'avoir bien appréciée, après avoir nettement défini le point de départ.

Les instructions pratiques sur le drainage, publiées par ordre de l'administration supérieure, s'expliquent ainsi qu'il suit sur les sols auxquels il convient d'appliquer cette opération :

« Le drainage doit surtout s'appliquer avantageu-« sement aux terres *froides et fortes*, aux sols *argi-« leux* et, en général, aux terrains *imperméables* ou « reposant sur un terrain *imperméable*. Sans parler « des terrains bourbeux ou marécageux proprement « dits, au sujet desquels il ne peut y avoir de doute, « on peut dire que les terrains qui ont le plus be-« soin de drainage présentent les caractères sui-« vants, plus ou moins développés, seuls ou réunis, « mais toujours assez faciles à reconnaître.

« Ils sont couverts de flaques d'eau plusieurs jours « après la pluie ; les trous que l'on y creuse, même « après la sécheresse, présentent des suintements « d'eau ; au printemps, surtout, on y remarque des « parties d'une teinte plus foncée que l'ensemble de « la pièce ; le matin, on y observe souvent des va-« peurs abondantes. »

Le public, qui reconnaît dans ces circonstances les caractères essentiels aux terrains très-humides et pour qui la pluie est le grand générateur de l'hu-

midité, trompé par les apparences, est conduit à conclure de là que les sols à drainer conservent toute l'eau de pluie. En outre, lorsqu'après le drainage il reconnaît que ces terrains s'assèchent de plus en plus, lorsqu'il voit les eaux couler sous eux par les émissaires artificiels placés à l'intérieur, il pense que désormais ces terrains, au lieu de garder la pluie comme précédemment, la rejettent aussitôt qu'ils la reçoivent et que les désastres des inondations peuvent être augmentés d'autant. Telle est, si je ne me trompe, l'origine des opinions qui se sont propagées dans les masses au sujet des effets du drainage en matière d'écoulement.

Il ne nous sera pas difficile de faire ressortir tout ce qu'il y a d'erroné dans cette manière d'interpréter les faits.

Supposons un instant qu'au lieu de placer des drains dans un sol argileux, peu perméable, on les établisse dans un terrain de nature très-absorbante, on admettra sans peine que, dans ce cas, les eaux qui se seraient perdues, le plus souvent sans retour, dans les profondeurs de ce terrain, lorsqu'elles arriveront aux lignes de drains, prendront leur écoulement dans ces conduits et viendront à jour. Cet effet se produira d'autant plus promptement que la nature du sol sera plus facilement perméable. Dans ce cas, l'on aura, à coup sûr, aggravé le danger des inondations, puisque de grandes quantités de liquide qui auraient disparu dans le sous-sol sont artificiellement ramenées à la surface. Mais si la même opération est pratiquée sur des terres argileuses

compactes, très-difficilement perméables à l'eau, est-il raisonnable d'admettre que les choses devront se passer de la même manière; n'est-il pas, au contraire, évident *à priori* que les effets obtenus seront diamétralement opposés aux précédents? Dire, en effet, que des terrains sont et restent longtemps humides, ce n'est pas reconnaître qu'ils prennent à la pluie de plus grandes quantités d'eau que d'autres terrains; que chaque fois qu'il pleut ils soustraient à l'écoulement de surface de fortes proportions de liquide; cela veut dire seulement que les eaux, une fois tombées, y sont retenues plus longtemps que partout ailleurs; qu'elles éprouvent par conséquent plus de difficultés à pénétrer dans les couches profondes; qu'elles sont contraintes de rester à la surface; que, par suite, lorsque de nouvelles pluies surviendront, la faible tendance de ces terres à l'absorption, déjà satisfaite en grande partie par les pluies précédentes, ne trouvera presque plus matière à s'exercer; qu'elle refusera par conséquent les nouveaux volumes affluents; qu'enfin les écoulements de surface prendront sur ces terrains un développement plus prononcé qu'ailleurs. S'il n'en était pas ainsi; si, dans ces circonstances, les actions qui s'exercent sur les couches superficielles n'étaient pas prédominantes, comment expliquerait-on que, plusieurs jours après la pluie, ces terrains sont couverts de flaques d'eau, que les trous qu'on y creuse, même après une longue sécheresse, présentent toujours des suintements, qu'on y observe souvent des vapeurs abondantes; comment expliquerait-on que

le cultivateur se trouve dans l'obligation de multiplier sur ces terres plus que sur les autres les moyens d'écoulement superficiel, les sillons, les ados, les fossés?

M. Frédéric Jacquemart, qui a exécuté d'importants drainages dans le département de l'Aisne, et qui a rendu compte de ses opérations dans le *Journal d'agriculture pratique* (numéro du 20 mars 1856), s'explique ainsi au sujet de cette tenace et désolante humidité de certains terrains :

« Dans plusieurs pièces en pente, généralement « fraîches et fortes, et par cette raison difficiles à « travailler, certaines portions, malgré des fossés « d'assainissement, étaient toujours humides, à tel « point qu'il était rare de trouver un moment con- « venable pour les labourer. Dans plusieurs endroits, « on avait dû renoncer à la culture d'une certaine « étendue du sol. Depuis le drainage, ces pièces sont « très-saines dans toutes leurs parties; les fossés ont « été supprimés comme inutiles, et nous avons vu « la charrue travailler partout avec facilité, là même « où, un mois auparavant, il y avait un bourbier « impraticable. »

Reconnaissons donc que les terres à drainer sont celles qui à l'époque des grandes pluies contribuent le plus à grossir les ruisseaux et les rivières, et que précisément cet excès d'humidité qu'elles conservent avec tant de persistance s'oppose au jeu de l'absorption, c'est-à-dire aux écoulements intérieurs, et donne à ceux de la surface une plus grande importance que sur les autres terres.

Voyons maintenant ce qui se passe sur les mêmes sols traités par l'opération du drainage. Il est incontestable qu'après les pluies et pendant un temps plus ou moins long, les drains laissent couler de l'eau avec une abondance d'autant plus grande, que le débit de la pluie a été plus fort; il n'est pas moins incontestable qu'avant la pose des drains cet écoulement, faisant suite à la pluie et persistant assez longtemps après sa chute, ne s'observait pas. D'où vient cette différence ? De ce que le drainage, égouttant les terres, les dispose, dans l'intervalle des pluies, à recevoir de plus grandes quantités d'eau. Le sol ressemblait d'abord à une éponge toujours imbibée, se refusant par conséquent à l'introduction de nouvelles quantités de liquide dans l'intérieur de sa masse et les rejetant au dehors, tandis que, plus tard, l'éponge, étant en grande partie desséchée, reçoit l'eau, la conserve d'abord, la transmet ensuite à travers ses interstices, qui ne sont plus engorgés, et la fait descendre de proche en proche jusqu'aux tuyaux évacuateurs. C'est donc après le drainage, et non avant, que l'absorption joue le plus grand rôle, comme c'est avant lui, et non après, que l'écoulement de surface a le plus d'importance. Cet écoulement, dans ce dernier cas, est d'ailleurs presque aussi rapide que la pluie; il commence, pour ainsi dire, et disparaît avec elle. Dans l'autre cas, au contraire, l'écoulement par les drains ne peut commencer qu'après que le travail de l'absorption s'est opéré; travail plus ou moins long, suivant la nature plus ou moins compacte des terres. Aussi les tuyaux de drainage

n'atteignent-ils leur maximum de débit que lorsque la pluie a déjà produit la plus grande partie de ses effets; ils semblent en quelque sorte attendre pour fonctionner que le moment de la crise soit passé, ils font l'office de vrais régulateurs de l'écoulement, et ils corrigent par un prolongement dans les durées les excès qui accompagnent toujours une irruption subite.

« Sur seize collecteurs posés avant les pluies d'au-« tomne, dit M. Jacquemart dans l'article déjà cité, « sept n'ont jamais cessé de donner de l'eau; plu-« sieurs en donnent pendant près de huit mois, sans « interruption; pour les autres, l'écoulement est in-« termittent.

« A la suite des pluies de quelque importance, l'eau « fournie par les collecteurs s'accroît rapidement « dans les vingt-quatre heures. Souvent, dans l'hi-« ver, ou après des orages, elle coule à plein tuyau « de 0^m,08 de diamètre, avec une très-grande vi-« tesse; puis, après un temps plus ou moins long, « commence une période de décroissance. »

Concluons donc que l'opération du drainage a pour effet direct de substituer à l'écoulement irrégulier, intermittent de la pluie, un écoulement plus calme, plus prolongé, plus modérateur. Cette opération fait disparaître en grande partie tout ce qu'il y a de brusque et d'excessif dans les effets de la pluie; par son intervention, les eaux versées en quelques heures mettent plusieurs jours à s'écouler; on peut donc dire avec vérité que, comparativement à ce qu'elles étaient auparavant, les terres drainées deviennent

des récipients, comme celui de Pinay; récipients qui, aux époques critiques, emmagasinent des eaux surabondantes, les soustraient à l'irruption torrentielle qui suit de près les orages, et ne les rendent plus tard aux cours d'eau naturels que lorsque le calme est rétabli, et que tous les niveaux se sont abaissés. Drainer les terres, c'est donc créer de véritables réservoirs, c'est diminuer la portée des inondations. Des inquiétudes à ce sujet n'auraient donc rien de fondé.

Influence des barrages construits sur les cours d'eau.

Les modifications de régime que la construction d'un barrage fait subir à une rivière sont principalement apparentes en étiage, et nous sommes disposé à penser que c'est surtout par rapport à cet état des eaux qu'ont été conçues les craintes que ces ouvrages ont fait naître dans les esprits.

En général, les habitants d'une contrée connaissent beaucoup mieux l'état d'une rivière pendant les sécheresses qu'en hautes eaux. Les premières sont très-persistantes, les lignes de niveau qu'elles déterminent sont plus facilement appréciées, non-seulement parce qu'elles peuvent être observées plus longtemps et plus souvent, mais encore parce qu'on les rattache à de nombreux points de comparaison, soit sur les rives, soit sur certains bancs de gravier qui se découvrent plus ou moins; en outre, on voit plus souvent les rivières, on en fait plus fréquemment usage pour l'agrément de la promenade, pour la natation, pour les besoins domestiques, en été qu'en hiver; il est donc incontestable que la physio-

nomie générale d'un cours d'eau laisse dans l'esprit une impression plus durable, une image plus fidèle et mieux comprise pendant son état d'étiage que pendant celui des crues.

Or, lorsque le public voit que, sous l'influence d'un barrage, le niveau des eaux, en été, augmente de toute la hauteur de ce barrage, lorsqu'il voit s'opérer sous ses yeux une modification si profonde dans le régime des écoulements, il est naturellement entraîné à penser que ce relèvement extraordinaire des eaux se maintiendra pendant tous les autres états de la rivière; qu'il sera, à l'époque des inondations, le même qu'en étiage; et que toute la partie de la contrée située en amont du barrage sera désormais soumise à un redoublement de calamités.

Cependant, s'il en était ainsi, il faudrait qu'en toute circonstance la chute du liquide, au point même où se trouve l'obstacle, fût constante; il faudrait que cette chute restât invariablement égale à la hauteur de la retenue. Or, l'expérience prouve que ce n'est pas ainsi que les choses se passent. On remarque qu'à mesure que la rivière grossit, la différence des eaux d'amont et d'aval d'un barrage va sans cesse en diminuant, jusqu'à un certain point où elle ne se manifeste plus, même pour les barrages très-courts, que par une sorte de plan incliné rattachant l'un à l'autre les biefs supérieur et inférieur, sans aucun choc, sans aucun changement brusque de forme, par voie de continuité.

Que conclure de ces faits? que dans toutes les rivières, pour un même débit, il faut moins de hauteur

à l'eau qui passe sur un barrage qu'à celle qui coule dans une section ordinaire; que, sur un barrage, la vitesse d'écoulement est plus accélérée que partout ailleurs, et que cette accélération va sans cesse en grandissant avec la masse des eaux; de telle sorte qu'il arrive un moment où l'augmentation croissante de la vitesse finit par compenser la diminution du débouché introduite par l'obstacle transversal, et que cet écoulement se fait alors comme si cet obstacle n'existait pas.

Or, sans entrer dans des explications techniques, il est facile de comprendre à un point de vue général quelle est la cause qui provoque cette accélération.

L'eau qui coule dans un lit y rencontre une série d'obstacles, dépendant des parois de ce lit et de leur forme, tant dans le sens longitudinal que dans le sens transversal; ces obstacles retardent son mouvement et s'opposent à ce qu'elle acquière la vitesse qu'elle prendrait si elle était soumise à la seule influence de la pente naturelle. Or, au passage d'un barrage, la forme plus régulière de la surface sur laquelle se fait l'écoulement diminue l'importance de ces obstacles; en outre la grande augmentation de la pente précipite le cours des eaux, et ces deux causes réunies font que le même débit s'écoulera avec une hauteur beaucoup moindre sur le barrage que dans les autres sections de la rivière.

Faisons comprendre par un exemple la portée de cette observation.

Le Lot est une rivière qui débite en étiage 12 mètres

cubes d'eau par seconde, dans la traversée du département du Lot. Sa largeur normale en basses eaux est d'environ 70 mètres, sa pente moyenne de 0m,0006. On trouve avec ces données que la hauteur de l'eau en rivière, pour un débit de 12 mètres cubes, doit être moyennement de 0m,28. Or, sur un barrage de 70 mètres de longueur, le même débit de 12 mètres cubes s'effectuerait avec une hauteur de 0m,20 seulement, plus petite d'un quart que la précédente.

Pour apprécier maintenant l'influence croissante qu'exerce sur les écoulements par les barrages la progression du volume des eaux, supposons que, dans une rivière de 100 mètres de largeur normale et de 0m,0006 de pente, on ait établi un barrage de 2 mètres de hauteur, et ayant aussi 100 mètres de développement. Cherchons quels seront les débits successifs de cette rivière dans ses sections ordinaires, lorsque les eaux s'élèveront successivement à 1, 2, 3 mètres, etc., au-dessus de l'étiage; et, pour simplifier la question, admettons que le fond et les berges de cette rivière, au lieu de rester dans leur état naturel, ont été régularisés comme le sont ceux d'un canal; on trouve que dans ces conditions les volumes d'eau correspondant aux diverses hauteurs marcheraient d'après la progression suivante :

Pour	1 mèt.	le débit serait de	125 mèt.	cub. par seconde.
	2	—	352	—
	3	—	648	—
	4	—	999	—
	5	—	1410	—
	6	—	1836	—

Pour	7 mèt. le débit serait de	2286 mèt. cub. par seconde.		
	8 —	2747	—	
	9 —	3228	—	
	10 —	3748	—	

Cela posé, si on cherche quelles seraient les hauteurs des tranches qui devront surmonter le barrage pour que ces tranches débitent successivement les volumes d'eau inscrits sur ce tableau, on trouvera, savoir :

Pour le débit de	125 mèt. cub.,	une hauteur de	$0^m,79$
—	352	—	1 ,57
—	648	—	2 ,35
—	999	—	3 ,14
—	1410	—	3 ,94
—	1836	—	4 ,70
—	2286	—	5 ,45
—	2747	—	6 ,15
—	3228	—	6 ,85

Si maintenant on augmente les hauteurs de toutes ces tranches de la quantité de 2 mètres, qui représente la chute du barrage, on aura les hauteurs absolues de la retenue au-dessus de l'étiage, au point où le barrage est établi, et on pourra ainsi se rendre facilement compte de la surélévation produite sur les eaux d'amont. Par exemple, lorsque le débit est 1410, les eaux sont dans la rivière à la cote 5 mètres, et la tranche liquide qui surmonte le barrage a $3^m,94$ de hauteur ; ajoutant à ce nombre la valeur (2 mètres) de la chute, on aura pour cote absolue $5^m,94$, d'où l'on conclura que pour cet état de la rivière le barrage produit un surhaussement de $0^m,94$. Or, les tableaux ci-dessus montrent que les hauteurs absolues au droit

de la retenue sont toutes supérieures à celles que prend l'eau en rivière, jusqu'à ce qu'on ait atteint le niveau compris entre 8 et 9 mètres, soit très-sensiblement 8^m,50. Dans ce moment, le barrage n'apporte plus aucune modification dans les niveaux que prendrait naturellement la rivière en amont de lui ; et si, ultérieurement, le débit venait encore à augmenter, il arriverait alors qu'au contraire ce serait au passage même de la retenue que les niveaux seraient plus déprimés que dans les parties supérieures. En conséquence, tant que l'état de crue sera tel que l'inondation aurait dû se maintenir au-dessous de la cote 8^{m}50, le barrage aggravera la situation des plaines qui le précèdent; mais, à partir de cette cote, il sera complétement inoffensif.

Mais ces conclusions supposent que le barrage peut toujours librement fonctionner avec sa chute, et que son écoulement n'est pas gêné par l'ascension des eaux d'aval; c'est ce qui arriverait, par exemple, si la retenue était établie au sommet d'une haute cataracte qui empêcherait toute influence des courants inférieurs sur ceux qui franchissent le barrage. Or, ce n'est pas ainsi que les choses existent dans nos rivières où les pieds des retenues sont baignés par le liquide d'aval. Dans ce cas, à mesure que le volume du débit augmente dans le fleuve, le niveau du bief inférieur se relève de plus en plus; il atteint le sommet du barrage, il le dépasse, et les conditions de l'écoulement sur cet ouvrage d'art ne sont plus celles qui ont servi de base aux calculs ci-dessus. Dans ces circonstances, les vitesses à la traversée de la retenue

sont moindres que dans le cas précédent, et ce ne serait que pour des hauteurs supérieures à celles de 8m,50 que les effets du barrage cesseraient de se faire sentir. On peut même dire que, mathématiquement parlant, le barrage ne sera jamais effacé, car pour que les niveaux d'amont et d'aval se confondissent dans le même plan d'une pente uniforme, il faudrait que les trois sections consécutives, en amont, sur la retenue et en aval, fussent égales, ce qui ne peut se réaliser jamais, lorsque le barrage a pour largeur la largeur même de la rivière ; la section d'écoulement, au point où il existe, est alors toujours moindre que celles qui la précèdent et la suivent, d'une quantité égale au produit de la chute par la longueur, et il faudra nécessairement, pour compenser ce déficit, une certaine accélération de la vitesse, c'est-à-dire un supplément de pente, c'est-à-dire enfin un remous. Mais on conçoit que plus les eaux monteront, plus les sections grandiront, moins il sera nécessaire que l'accélération de vitesse soit considérable au passage de la retenue, moins par conséquent le remous aura d'importance ; ainsi nous trouvons, en consultant le calcul, que pour la hauteur de 14 mètres le remous atteindrait à peine la valeur de 0m,05. Arrivé à ce terme, on peut considérer le barrage comme ne produisant plus d'effet appréciable.

Ce serait sortir du cadre de nos recherches que d'entrer dans les détails des calculs spéciaux qui concernent cette circonstance du mouvement des eaux dans les rivières. Nous devions en dire assez pour faire comprendre que les effets de retenue d'un

barrage sont à leur maximum au moment de l'étiage, qu'ils s'atténuent ensuite avec les débits, et que toujours il y a une certaine hauteur pour laquelle ils deviennent, sinon nuls, du moins négligeables. Cette hauteur pourra être quelquefois très-considérable, mais la théorie et l'expérience sont d'accord pour montrer qu'elle existe, et c'est là l'essentiel.

Cela posé, il arrivera de deux choses l'une : ou bien cette hauteur sera inférieure à l'encaissement de la rivière dans ses berges, ou bien elle lui sera supérieure.

Le Tarn, dans la traversée du département de ce nom, est dans le premier cas; il coule moyennement à 25 et 30 mètres de profondeur au-dessous de la plaine, rarement à moins de 22; dans ce cas, des barrages de 2, 3 et même 4 mètres de hauteur sont sans influence pour relever les niveaux des plus fortes crues, qui s'élèvent au-dessus de l'étiage jusqu'à 18 mètres. Mais, en général, les rivières ne sont pas dans ce cas; leurs encaissements sont loin d'atteindre ceux du Tarn.

Dans le Lot, par exemple, l'inondation des plaines, entre la Magdeleine et Cahors, commence lorsque les eaux s'élèvent au niveau moyen de 5 mètres; de sorte que des barrages de 2 mètres de hauteur et de 100 mètres de longueur, pareils à ceux pour lesquels nous avons établi les calculs précédents, exerceraient leur influence bien au-dessus de ce niveau et rendraient, par conséquent, les inondations plus fréquentes et plus dangereuses. Mais si, au lieu de donner à ces barrages une longueur de 100 mètres

seulement, égale à la largeur de la rivière, on double leur développement, on atténuera immédiatement dans une très-forte proportion les effets ci-dessus signalés.

Le calcul montre que, dans ces circonstances, lorsque le barrage sera surmonté d'une tranche liquide de 2 mètres de hauteur, il laissera couler 1008 mètres cubes, c'est-à-dire à peu près autant que la rivière, lorsque ses eaux montent à 4 mètres au dessus de l'étiage. Ce résultat était d'ailleurs inévitable, puisque la section, répondant à une tranche de 2 mètres sur le barrage, a pour valeur 400 mètres carrés, et qu'elle est, par conséquent, égale à celle de la rivière en amont et en aval, pour le niveau de 4 mètres. A partir de ce moment, l'équilibre est rétabli, et le barrage ne produit plus d'effet.

On voit même que, puisque ce n'est qu'à 5 mètres que les inondations commencent sur le Lot, on peut se dispenser de porter le développement des barrages au double de la largeur normale de la rivière. En effet, pour une hauteur de 5 mètres, les sections, dans le lit ordinaire du courant, auront une surface de 500 mètres carrés; il suffira donc de diviser ce nombre par la hauteur (3 mètres) de la tranche liquide sur le barrage, au même instant, pour trouver le développement de celui-ci; on obtient ainsi une longueur de 167 mètres.

Cet exemple est de nature à faire comprendre qu'à l'aide d'un développement plus ou moins grand donné aux barrages, on sera toujours maître de limiter à telle hauteur qu'on voudra les modifications

que ces ouvrages introduisent dans le régime des rivières; que, par conséquent, leur établissement, s'il est conçu dans l'ordre d'idées que nous venons d'exposer, n'aggravera jamais les effets des inondations.

Il convient maintenant d'observer que tout ce que nous venons de dire, sur la nécessité de construire les barrages dans des conditions telles que le niveau des eaux de débordement ne soit pas surélevé, ne s'applique qu'aux vallées dont les surfaces anciennement colmatées ont été fertilisées par les dépôts limoneux, et sont aujourd'hui soumises à des modes de cultures très-productifs. Dans ce cas, il y a généralement utilité à ne pas modifier le régime actuel du débordement des eaux, ou du moins à n'introduire de semblables modifications qu'après un très-mûr examen.

Mais il n'en est pas à beaucoup près de même dans les vallées où l'on ne rencontre que des marais ou des graviers stériles, dans lesquelles les eaux, d'ailleurs troubles, coulent avec impétuosité, et qui, par le fait même de ces très-grandes vitesses, sont privées de l'un des principaux avantages des crues, le limonage. Dans ces contrées, les inconvénients des crues existent tout entiers, sans aucune compensation, et il ne peut être que très-utile de transformer cet état de primitive barbarie.

Nous avons eu déjà occasion de parler de l'immense plaine caillouteuse de la Crau, dans les Bouches-du-Rhône, et nous avons dit que l'industrie humaine s'est appliquée, depuis plus de deux siècles, à

conduire sur ces cailloux, à l'aide de canaux artificiels, les eaux troubles de la Durance. Or, on n'aura aucune peine à comprendre que, si des rivières plus ou moins abondantes traversaient ces terrains, il y aurait tout avantage, au lieu de laisser couler leurs eaux avec leurs vitesses naturelles, qui seraient excessives, à les arrêter de distance en distance par des barrages assez courts pour produire des effets de relèvement très-appréciables, même en temps de crue. Par ce moyen, on amortirait la force des courants, on relèverait leurs niveaux et on forcerait les eaux troubles à se répandre sur les espaces stériles et à y déposer leurs limons, qui, en même temps qu'ils produiraient l'exhaussement du sol, donneraient à celui-ci une puissance de végétation dont il a été dépouillé jusqu'à ce jour.

Une telle opération non-seulement ne serait pas désastreuse, comme on l'a cru jusqu'à présent et comme le croient encore quelques esprits, mais elle serait, au contraire, essentiellement profitable; car, en combinant la création de ces barrages avec celle de digues transversales, élevées sur les terrains mêmes à colmater, on réaliserait d'abord et très-promptement les bons effets qu'on cherche à obtenir sur ces terrains, et, en second lieu, on produirait de grandes améliorations pour les parties fertiles qui pourraient exister à l'aval, parce que l'amortissement des vitesses et l'emmagasinement des eaux dans les espaces à atterrir retarderaient les écoulements et apporteraient une notable réduction dans ce que les amoncellements de liquide ont de plus

dangereux. Ce côté des améliorations agricoles n'a pas été suffisamment étudié en France, et on ne sait pas assez combien on pourrait par ce moyen rendre à la culture de terrains aujourd'hui improductifs.

Depuis que ces observations ont été écrites, et au moment même de l'impression, nous avons eu connaissance d'une note dans laquelle M. Duponchel, ingénieur des ponts et chaussées, rend compte, dans nos *Annales*, des remarques qu'il a eu occasion de faire sur quelques torrents des Cévennes. Ces remarques sont une première vérification des idées que nous venons d'émettre, et nous sommes convaincu que plus on étendra le champ des recherches, plus nombreuses seront les confirmations des principes que nous cherchons à faire prévaloir.

« La cause principale du ravage des eaux, dit avec « raison M. Duponchel, dans les vallées dont nous « nous occupons est leur excès de vitesse qui n'est « pas en rapport avec la résistance du sol.

« Le système des digues longitudinales, qui, loin « de détruire la vitesse, la régularise, sans perte de « force vive, ne peut donc être qu'inefficace ou même « désastreux; car, loin d'atténuer le principe du « mal, il ne fait que l'aggraver.

« Il est cependant un moyen simple et facile de « détruire cet excédant de vitesse des eaux, et ce « moyen on l'emploie généralement dans un autre « but, sans qu'on se rende compte des bons effets « qu'il produit, au point de vue des inondations : « nous voulons parler des barrages transversaux. »

A l'appui de ces principes, M. Duponchel cite des

faits très-concluants et sur lesquels nous ne saurions assez appeler l'attention du lecteur.

« C'est ainsi, dit-il, que, dans la vallée de la « Lergue, affluent de l'Hérault, dont toutes les chutes « sont utilisées par l'industrie, sur une longueur de « 6 kilomètres tant en amont qu'en aval de Lodève, « toutes les terres sont cultivées jusqu'au lit d'étiage, « qui n'est sujet à aucun changement en temps de « crue, tandis qu'à partir du dernier barrage il « n'existe plus un seul lambeau de terre cultivable « dans la partie submersible de la vallée jusqu'à « l'Hérault.

« Le même résultat se reproduit d'une manière « encore plus frappante sur le Jaur, dans toute la « partie correspondant au groupe des usines de « Saint-Pons, Riols et Prémian : sur une longueur « de 8 kilomètres environ, toutes les chutes d'eau « sont utilisées, et les terres voisines sont couvertes « de prairies dont la végétation est si puissante que, « pendant l'été, elle gagne jusqu'au lit d'étiage, « dont toutes les pierres saillantes se recouvrent « d'herbe ou de gazon. En aval de Prémian, au con- « traire, et jusqu'au confluent de l'Orb, on ne trouve « plus que des graviers stériles, les eaux de la ri- « vière ayant tout ravagé d'une montagne à l'autre.

« Comme dernier exemple, nous citerons le groupe « des usines de Bédarieux, établies sur l'Orb depuis « un petit nombre d'années. Bien que plusieurs des « barrages n'y aient pas une hauteur suffisante et « qu'il existe des chutes perdues d'une chaussée à « l'autre, nous n'en voyons pas moins le lit de la ri-

« vière se fixer peu à peu et, de jour en jour, les « prairies gagner sur les graviers qui ne tarderont « pas à disparaître complétement, tandis que, par « un contraste frappant, les plaines du Bousquet à « l'amont, celles du Poujol à l'aval, ne présentent « que des plages désolées au milieu desquelles la ri- « vière déplace son lit à chaque crue. »

De tels faits, on doit le reconnaître, ont une incontestable valeur et ne sauraient être négligés, lorsque la question de l'aménagement général des eaux entrera dans sa phase de réalisation.

Nous ne nous sommes occupé ici que des effets que les barrages produisent, par leur retenue, sur les regonflements d'eau. Nous venons de montrer, d'une part, l'utilité de ces barrages lorsqu'il s'agit de provoquer le colmatage des terrains stériles; nous avons expliqué, d'autre part, quelles doivent être les dispositions de leur établissement, lorsqu'il importe de ne pas aggraver, dans les vallées fertiles, le régime auquel est actuellement soumis le débordement des eaux. Il est une autre nature de reproches qu'on adresse à ces ouvrages; on les accuse de provoquer des atterrissements dans les fleuves, de déterminer l'exhaussement de leurs lits et d'agir ainsi, pour surélever les eaux, d'une manière moins directe, sans doute, que par leur retenue, mais qui, pour être plus lente, n'en est pas moins certaine.

Ce reproche n'est pas plus fondé que le précédent; c'est ce dont nous essayerons de convaincre le lecteur dans la suite de cet écrit. Dans ce moment, pour ne pas interrompre le cours des idées, nous nous

bornons à cette simple indication; mais nous reprendrons ce sujet avec toute l'attention qu'il mérite, lorsque, dans la deuxième section de ce chapitre, nous présenterons des observations spéciales sur les forces de transport et les atterrissements des fleuves dans les parties non montagneuses des vallées.

Influence des levées exécutées pour l'établissement des chemins de fer et des canaux.

Les vallées étant, en général, les parties les plus fertiles, les plus industrieuses, les plus peuplées, les plus riches d'un pays, on doit naturellement s'attendre à ce que les chemins de fer viendront s'y établir de préférence. Quant aux canaux, ils y ont leur place naturellement marquée. D'ailleurs, ces ouvrages, soit au point de vue de leur conservation, soit au point de vue de leur utilité pratique, doivent être établis de manière à être protégés contre les inondations.

Il résulte de là que, lorsque le tracé des uns et des autres n'a pas été conduit sur le pied des coteaux en des points naturellement insubmersibles, il est venu remplir dans les vallées l'office de digues longitudinales; et comme, en exécutant les travaux, on s'est beaucoup plus préoccupé des conditions relatives à l'économie des dépenses et aux nécessités de la traction sur ces voies qu'aux modifications qu'ils pourraient introduire dans le régime des eaux courantes, on les a quelquefois rapprochés outre mesure du lit des rivières, et l'on peut dire qu'à un point de

vue général ce sont les digues longitudinales de la pire espèce; on conçoit d'ailleurs qu'à une époque où ce dernier système de l'encaissement des rivières a été l'objet des plus vives sympathies, on a dû se préoccuper fort médiocrement de l'établissement dansnos vallées de ces longues lignes de remblais; qui sait même si on ne les a pas considérées comme éminemment favorables, au point de vue même des inondations, comme remplaçant une partie des travaux et économisant une partie des dépenses à faire pour résoudre la question hydraulique. On a pu croire, pour nous servir d'une expression vulgaire, mais caractéristique, qu'on faisait d'une pierre deux coups.

Mais si les observations que nous avons produites au sujet des vices de l'endiguement longitudinal sont fondées; si l'on reconnaît qu'au lieu d'encaisser les fleuves, il faut, au contraire, recevoir, avec quelques précautions toutefois, leurs débordements sur les plaines, on ne tardera pas sans doute à regretter que les tracés des chemins de fer et des canaux n'aient pas été envisagés au double point de vue de leurs conditions propres et de celles relatives aux inondations, et qu'on ait ainsi toléré, sur un des côtés des vallées, quelquefois sur les deux, des ouvrages qui, par rapport aux effets des crues, devraient être sinon radicalement supprimés, tout au moins sensiblement abaissés.

Il y a là un inconvénient réel dont l'avenir payera les frais; car, pour annuler ses fâcheuses conséquences, il sera nécessaire de développer sur une

plus grande échelle l'établissement des réservoirs permanents, et très-probablement d'augmenter les dépenses des réservoirs temporaires à établir en amont et en aval des villes.

Toutefois, dans les vallées où existent déjà des digues longitudinales, et dans la supposition où l'on reconnaîtrait qu'on ne peut se soustraire à la fâcheuse nécessité de les conserver, l'existence d'une seconde levée pourrait, suivant la disposition des lieux, être utilement mise à profit pour circonscrire sur de moindres étendues les effets des ruptures des digues. On aurait ainsi deux lignes de défense au lieu d'une; la seconde servirait de limite aux irruptions que la première n'aurait pu prévenir, et quelques obstacles transversaux joignant l'une à l'autre arrêteraient les courants et les empêcheraient de développer leurs funestes actions sur de longues étendues.

Mais, dans les vallées qui sont dépourvues de digues, où les eaux peuvent s'épandre librement, le mal existe sans compensation. Dans ces localités, les remblais des chemins de fer et des canaux enlèvent quelquefois à l'emmagasinement des eaux de vastes espaces situés derrière eux, et deviennent une cause directe du relèvement des niveaux dans l'étendue comprise entre eux et la rivière.

Cela tient à ce qu'en général, lorsqu'un tracé coupe ainsi en deux les plaines d'une vallée dans le sens de leur longueur, on ne se propose guère, en l'étudiant, que de déterminer le débouché nécessaire pour que les ouvrages d'art conduisent à l'artère

principale les cours d'eau secondaires interceptés, et on ne songe pas assez que les quantités de liquide que la rivière, dans ses inondations, peut faire remonter vers ces affluents de second ordre et dans les vallées où ils sont situés, ont une tout autre importance que celle des volumes d'eau qu'ils débitent eux-mêmes.

Nous pourrions citer un canal qui, sur un parcours de 8 kilomètres, produit ces effets d'une manière très-prononcée, et nous avons eu occasion de vérifier que, depuis sa construction, le niveau des inondations dans les plaines adjacentes a été relevé de $0^m,45$.

Telles sont les considérations principales que nous avons à présenter sur ce sujet. Il est regrettable, nous le répétons, qu'en s'occupant de ces projets on n'ait pas suffisamment pris en considération les conditions hydrauliques des localités dans lesquelles ils devaient être exécutés. Le mal n'est pas sans remède, sans doute, mais il s'écoulera peut-être un long temps et il se produira beaucoup de désastres avant que ce remède soit appliqué. Dans tous les cas, les dépenses à faire seront grevées d'une notable augmentation.

DEUXIÈME SECTION.

Examen de divers systèmes proposés pour combattre les inondations.

Des canaux de dérivation.

C'est une idée séduisante au premier abord que celle qui consiste à ouvrir sur les fleuves des dérivations destinées à les soulager dans un moment donné, à recevoir une partie des eaux qui y affluent, à les conduire par des canaux spéciaux, et à diminuer ainsi les hauteurs si menaçantes des inondations.

Mais, lorsqu'on entre dans les divers détails relatifs à l'établissement de ces ouvrages, lorsqu'on étudie leur effet utile, et surtout lorsqu'on compare cet effet à la dépense qu'il faudrait entreprendre pour le réaliser, on ne tarde pas à voir surgir de si nombreuses et de si grandes difficultés, qu'on est forcé de reconnaître combien seraient vaines les espérances qu'on voudrait fonder sur l'emploi de ce moyen.

Nous allons essayer de justifier ces assertions.

Il existe en France une sorte de travaux qui a beaucoup d'analogie avec ceux dont il est ici question : ce sont les canaux de navigation. La construction de ces ouvrages est aujourd'hui assez développée dans notre pays pour qu'on puisse se rendre compte et de la nature des difficultés et de l'importance des dépenses qui les concernent. Nous n'avons donc pas

à nous livrer à cet égard à des justifications qui sont entrées depuis longtemps dans le domaine public, il nous suffira d'invoquer l'expérience, de citer des faits plusieurs fois contrôlés et dont l'authenticité ne saurait être contestée. Or, d'une part, on sait que la dépense de ces ouvrages est fort considérable; on les évalue en moyenne à raison de 120,000 fr. le kilomètre, mais il en est qui coûtent plus cher; ce sont ceux qui sont latéraux aux rivières, c'est-à-dire ceux qui précisément présentent le plus d'analogie avec les canaux de dérivation. Le canal latéral à la Loire a exigé une dépense de 157,000 fr. par kilomètre, le canal latéral à la Garonne a été primitivement évalué à 198,000 fr. le kilomètre, et il en a coûté beaucoup plus en exécution.

D'un autre côté, lorsqu'un canal est établi dans une vallée importante, il faut s'attendre à rencontrer de grandes difficultés à la jonction des différents affluents, parce qu'on traverse toujours ceux-ci dans le voisinage de leur embouchure, c'est-à-dire en des points où leurs débits et leurs largeurs atteignent le maximum, dans des plaines généralement basses et larges, sur le champ commun des inondations du fleuve principal et de l'affluent même.

Cela posé, portons d'abord notre attention sur le point de départ d'un canal de dérivation qu'il s'agirait de construire. Plus on remontera dans les parties supérieures de la vallée principale pour y établir la prise d'eau, plus la pente moyenne dont on pourra disposer pour le canal sera considérable, et plus, pour un même débit, on pourra diminuer l'é-

tendue de la section; c'est là un avantage, sans contredit; mais il sera peut-être amplement compensé, parce que, d'une part, les difficultés de terrain augmentent généralement à mesure qu'on s'élève plus haut dans les vallées, l'espace dans lequel on peut se mouvoir est plus resserré, les gorges étroites sont plus fréquentes, les terrains de rochers plus abondants; parce que, d'autre part, le nombre d'affluents à traverser sera beaucoup plus considérable, et que, soit qu'on veuille recevoir les uns dans le canal, soit qu'on se détermine à laisser les autres indépendants de son cours, il en coûtera toujours fort cher, quelque parti qu'on prenne.

Lorsque, des considérations relatives à la prise d'eau, on passe à celles qui concernent l'embouchure, les hésitations ne font qu'augmenter.

Si l'on se détermine à conduire directement le canal jusqu'à la mer, il faudra le plus souvent lui donner une longueur telle que l'énormité de la dépense équivaudra à une véritable impossibilité; c'est ce dont le lecteur va être convaincu tout à l'heure; d'ailleurs, dans ce cas et à très-peu d'exceptions près, les plus grandes difficultés se rencontreront pour la bonne conservation de cette embouchure, sans cesse exposée aux encombrements produits, soit par l'action des vents, soit par celle des marées.

Si, pour éviter ces inconvénients, on fait déboucher le canal dans le lit même du fleuve ou dans un de ses affluents, on aura dépensé des sommes considérables pour n'obtenir qu'un résultat fort incomplet, comme nous le ferons voir par un exemple

très-concluant; si, enfin, on dirige le canal de manière à le conduire dans un bassin tout à fait étranger au premier, on n'aura pas détruit le mal, le plus souvent on n'aura fait que le déplacer.

D'ailleurs, la possibilité de joindre un bassin à un autre qui en est complétement isolé, à l'aide d'une ligne de pente, sinon continue, du moins inclinant toujours dans le même sens, si elle n'est pas nulle est du moins si rare, et, lorsqu'elle est mathématiquement possible, conduit, dans la pratique, à un tel développement de travaux et à de telles dépenses que, sur les nombreux canaux de navigation qui, en France, servent à réunir des bassins différents, il n'y en a pas un seul pour lequel un tel mode de jonction ait pu être tenté, bien qu'il eût eu pour résultat de diminuer beaucoup le nombre des écluses et d'introduire une très-grande simplification dans la question si importante et si compliquée des approvisionnements d'eau.

Mais à ces difficultés qui concernent la prise d'eau et l'embouchure des canaux de dérivation s'en joignent de non moins grandes pour le parcours de ces canaux entre ces deux points extrêmes; elles résultent principalement, comme nous l'avons dit, de la rencontre du cours d'eau artificiel avec les divers affluents.

Les inconvénients des atterrissements qu'un affluent forme dans un canal de navigation lorsqu'il dégorge dans sa cuvette sont trop connus et d'une trop grande importance pour que, dans la construction de ces ouvrages d'art, on n'ait pas cherché à

les éviter; aussi, à la traversée de tous les cours d'eau naturels, le canal est-il élevé sur de forts remblais, et les eaux des vallées sont-elles conduites sous lui à l'aide d'aqueducs, de ponceaux ou de ponts, suivant l'importance des débits. Les travaux de ce genre coûtent quelquefois fort cher; nous pouvons citer le pont-aqueduc du canal latéral à la Garonne sur le Tarn, dont l'évaluation primitive s'est élevée à deux millions.

Mais qu'est-ce que le volume d'eau que conduit un canal de navigation, que sont les dimensions de ce canal auprès des débits et des sections qu'il faudrait donner aux canaux de dérivation pour qu'ils eussent quelque efficacité; les premiers sont, par rapport aux seconds, de véritables infiniment petits, et nous en donnerons bientôt la preuve; nous n'exagérons rien en disant que le débouché des uns est à peine le 1/30 de celui des autres et que les débits sont dans le rapport de 1 à 500.

Qu'on se représente par la pensée un volume de 1,000 mètres cubes d'eau par seconde (et nous montrerons que, dans la plupart des cas, il n'est pas possible de donner moins aux canaux de dérivation) auquel il faudrait faire franchir par des ouvrages d'art les divers affluents de la Loire près de leur confluent, comme le Beuvron, l'Indre, le Cher, la Vienne, l'Allier; qu'on prenne en même temps en considération que, dans les moments de crue, ces affluents atteignent eux-mêmes des niveaux élevés, et que leur écoulement doit rester sans entraves, et on sera effrayé, c'est le mot, de l'immense développement

qu'il faudrait donner aux travaux en longueur, largeur et hauteur, de l'énormité des dépenses auxquelles il faudrait se livrer si on voulait conserver une complète indépendance entre le liquide conduit par le canal artificiel et celui débité par les cours d'eau naturels.

Des constructions aussi gigantesques ne sauraient être raisonnablement entreprises. Outre qu'elles présenteraient en exécution des difficultés de premier ordre qui rendraient le succès fort incertain, outre que c'est toujours par millions qu'il faudrait compter les dépenses pour la traversée de quelques affluents, de pareils canaux, s'élevant en relief sur les plaines, les dominant à une grande hauteur, renouvelleraient, en cas d'avaries, cette série de désastres dont nous avons entretenu le lecteur au sujet de la rupture des digues longitudinales, et constitueraient peut-être de nouveaux dangers plus encore qu'ils n'apporteraient un remède au mal qu'on veut guérir.

Il faudra donc se résigner à laisser libre la communication des eaux du canal avec celles des affluents et à subir tous les inconvénients résultant de la rencontre de courants venant se heurter dans des directions différentes et qui produiront à chaque crue d'inévitables encombrements, soit dans le lit du canal, soit dans celui de l'affluent, suivant l'importance respective des débits de chacun.

Nous ne devons pas, d'ailleurs, négliger de faire remarquer que cette libre communication aura en exécution ses exigences particulières, qu'il ne sera pas toujours facile de surmonter; l'accord des ni-

veaux respectifs du canal et des cours d'eau pourra le plus souvent ne pas exister au point même de rencontre déterminé par le tracé le plus naturel et le plus économique du premier. Il faudra, pour réaliser cet accord, faire dévier le plus souvent la ligne normale qu'il aurait été le plus convenable de suivre et se jeter dans de fâcheuses, mais inévitables difficultés.

Ajoutons enfin qu'indépendamment des ouvrages d'art dont nous venons de parler, il y en aurait encore de fort importants à créer sur tous les points où le canal rencontrerait des voies de communication dont le réseau, depuis la construction des chemins vicinaux, s'est considérablement développé.

Exemple particulier de la construction d'un canal de dérivation dans une partie de la vallée de la Loire.

Mais supposons un instant que toutes les difficultés dont nous venons de présenter le tableau n'existent pas; supposons qu'un canal de dérivation ne doive pas rencontrer d'affluents, n'ayons aucun égard aux ouvrages d'art nécessités pour la traversée des routes et des chemins, simplifions la question autant que possible, ne tenons pas compte de ce qu'il y a de plus inévitable et de moins chanceux dans des travaux de ce genre, c'est-à-dire des terrassements et des acquisitions de terrains, et après avoir ainsi fait disparaître les plus graves complications, essayons de déterminer ce qui nous restera à faire de dépenses. Pour ne pas rester dans le vague, et donner à nos calculs une sorte de consécration pratique, nous

avons cherché à en faire l'application à un cas particulier, dont les diverses circonstances fussent bien définies et faciles à saisir, pour lequel la comparaison entre notre système et celui des dérivations fût très-concluante.

Or, après un examen attentif du cours de nos grands fleuves, il nous a paru que nous ne pouvions mieux faire, pour remplir le but que nous nous proposons, que d'entrer dans les détails de l'établissement d'un canal de dérivation à ouvrir sur la rive gauche de la Loire, dans l'étendue comprise entre le bec d'Allier et le confluent du Beuvron, au-dessous de Blois.

Dans cette partie, en effet, la vallée est suffisamment large, le terrain est peu accidenté, et il n'existe aucun affluent important ; d'ailleurs, ainsi que nous l'avons dit, nous en ferons abstraction, et nous agirons de même pour les communications interceptées sur les voies de terre.

La première chose à faire sera de déterminer la pente moyenne par mètre du canal.

Il résulte des statistiques officielles [1] que la Loire a les pentes suivantes :

De Digoin à Briare. . . . . $0^m,0005$ par mètre.
De Briare à Combleux (près Orléans), de. . . . . $0^m,00045$ à $0^m,0004$
De Combleux à l'extrémité du département de Loir-et-Cher. . . . . $0^m,0004$

On peut, d'après cela, admettre une pente moyenne de $0^m,00045$.

Portons maintenant la discussion sur le volume

[1] Voir l'ouvrage de M. Grangez sur les voies navigables, p. 317.

d'eau que devrait débiter le canal. Nous avons déjà montré, à la suite de l'analyse que nous avons faite de la crue de 1846, que, pour réduire avec efficacité la portée des inondations à Roanne, il fallait emmagasiner en amont de cette ville tout au moins 175 millions de mètres cubes d'eau.

Nous avons aussi prouvé la nécessité d'établir des réservoirs sur l'Allier; il faudrait donc qu'un canal qui aurait son point de départ situé à l'aval de la jonction de ces deux fleuves, et qui devrait résumer à lui seul les effets cumulés des travaux de réserve entrepris dans les deux vallées, fût construit de manière à débiter beaucoup plus que 150 millions. Toutefois, bornons-nous à ce chiffre; cela suffira pour rendre décisifs les effets de la comparaison que nous cherchons à établir.

Pour que l'établissement du canal soit réellement efficace, il faudra évidemment qu'il donne passage aux 150 millions ci-dessus, pendant la période ascendante de la crue; cherchons donc la durée de cette période.

Nous avons fait voir que pour Roanne elle est égale à soixante heures. Pour les points situés à l'aval, elle commencera et finira un peu plus tard; mais il est certain que la différence entre les deux retards sera à l'avantage du prolongement de la crue, parce qu'à mesure que l'on descend sur le fleuve les pentes et les vitesses d'écoulement diminuent; d'ailleurs, n'en serait-il pas ainsi, que nous n'en raisonnerons pas moins dans cette hypothèse toute favorable à la diminution des dépenses d'établissement du canal.

Afin même de ne laisser aucune prise à la critique, nous admettrons que la crue a commencé à se manifester au bec d'Allier en même temps qu'à Roanne, et nous ajouterons par conséquent à la durée de soixante heures qui concerne cette ville toute celle qu'a mis le maximum de la crue pour descendre de Roanne au bec.

Nous avons déjà eu occasion de constater que la moitié de ce trajet s'est faite en quatorze heures; il en faudrait donc compter vingt-huit pour la totalité. Cette détermination résulte d'une certaine évaluation de la vitesse du courant que nous avons admise d'après M. l'ingénieur en chef Boulangé; mais, pour ne laisser aucun doute à cet égard, nous pouvons recourir à des faits positifs.

En 1846, les eaux ont commencé à descendre à Roanne le 18 octobre à midi, tandis qu'à Orléans le mouvement de descente n'a commencé que le 20 à minuit[1]. Le maximum de la crue a donc mis soixante heures pour franchir la distance comprise entre Roanne et Orléans.

D'un autre côté, en 1856, le maximum de la crue a été signalé à Roanne le 30 mai à dix heures du soir, tandis que ce n'est que le 2 juin à midi, c'est-à-dire après un intervalle de soixante-deux heures, qu'il a été observé à Orléans.

Ces deux résultats d'expérience sont très-concordants, et démontrent qu'en temps de forte crue, et à l'époque du maximum, les eaux mettent, en

[1] *Annales des ponts et chaussées*, année 1852, 1er semestre, planche 20.

moyenne, soixante-une heures pour descendre de l'une de ces villes à l'autre.

Or, si l'on remarque que le bec d'Allier est placé, à très-peu de chose près, à moitié distance de Roanne et d'Orléans, mais qu'il est un peu plus rapproché toutefois de la première que de la seconde. Si l'on remarque en outre que les pentes et vitesses d'écoulement sont plus considérables entre Roanne et le bec qu'entre ce dernier point et Orléans, on sera conduit à admettre que, pour franchir la première moitié de cette distance, il faudra aux eaux un peu moins de moitié des soixante-une heures ci-dessus, ce qui nous ramène très-exactement à la première évaluation de vingt-huit heures. Toutefois, afin de nous mettre, autant que cela peut dépendre de nous, à l'abri de toute chance d'erreur, nous adopterons finalement une durée de trente heures, de sorte que ce sera dans un intervalle de quatre-vingt-dix heures que les 150 millions de mètres cubes devront trouver leur écoulement dans le canal.

Cela posé, on trouvera, par un calcul facile, que, pour que cette condition soit satisfaite, le débit moyen dans le canal, pendant toute cette durée, doit être de 463 mètres cubes par seconde. Mais, comme à l'origine de l'écoulement il ne coule rien dans le canal, et que le débit augmente ensuite peu à peu, à mesure que la crue monte, on voit que pour que ce débit moyen soit réalisé, il faudra que la section du canal soit telle que l'écoulement, lorsqu'il sera parvenu à son maximum, soit le double du nombre 463, soit 926.

Occupons-nous maintenant de déterminer les dispositions les plus favorables pour satisfaire, autant que possible, aux conditions d'économie dans les dépenses.

Le canal à ouvrir devra avoir son plafond au point de départ et au point d'arrivée, au même niveau que le fond du lit de la Loire, et être établi dans le reste de son parcours suivant une pente à peu près uniforme de $0^m,00045$ par mètre.

Les fouilles faites pour cet objet seront retroussées sur les bords du canal, et nous supposerons qu'elles ne sont soumises à aucun transport éloigné. Or, dans ces circonstances, ce qu'il y a de mieux à faire, au point de vue de l'économie, c'est de tâcher d'obtenir la section d'écoulement nécessaire, en partie à l'aide des fouilles faites, en partie à l'aide de l'encaissement formé par le retroussement de ces fouilles disposées sous forme de digues.

Or, plus on entreprendra les déblais sur une largeur considérable, plus on en augmentera le nombre, et plus on aura de terres en excès pour la construction des digues; c'est un écueil qu'il importe d'éviter. Moins au contraire on donnera de largeur aux fouilles, moins on aura de terrassements à faire; mais il se pourrait, si l'on descendait à une limite trop basse, qu'on n'en eût pas une quantité suffisante pour les digues. C'est entre ces deux extrêmes qu'il convient de se placer.

Il y a donc utilité, avant tout, de se rendre compte de la quantité de terrassements nécessaires pour les digues. Dans ce but, essayons de déterminer les con-

ditions générales de l'établissement de celles-ci.

Et, d'abord, la hauteur de leur couronnement nous paraît devoir être portée à 7ᵐ,50 en contre-haut de l'étiage ou du plafond du canal. La Loire s'est élevée, en effet, à Orléans, à une hauteur de 6ᵐ,78 en 1846, et de 7ᵐ,20 en 1856. En présence de ces résultats, on admettra sans doute que la cote 7ᵐ,50 ne présente rien d'excessif. Ce ne serait même pas assez si les hauteurs de crue que nous venons de mentionner devaient être atteintes, puisque le sommet des digues ne s'élèverait que de 0ᵐ,30 au-dessus du niveau des eaux. Mais, comme l'existence du canal aura pour but de réduire notablement les hauteurs actuelles des inondations, nous pensons que, tout bien considéré, on conclura avec nous que la cote 7ᵐ,50 est convenable, qu'elle ne pèche ni par excès ni par insuffisance.

Une largeur de 4 mètres au moins est nécessaire pour le couronnement des digues; leur talus intérieur sur lequel l'eau coulera devra être établi à raison de un et demi de base pour un de hauteur, à cause de la nature très-probablement sableuse des terres mises en œuvre. Quant aux talus extérieurs, nous les supposerons réglés à 45 degrés.

Cela posé, si on s'établissait, pour l'ouverture du canal, sur une ligne de terre qui fût précisément à 7ᵐ,50 au-dessus de l'étiage, c'est-à-dire si on devait obtenir en entier la section d'écoulement dans les fouilles, on se convaincra par le calcul qu'il faudrait extraire par mètre courant un minimum de 384 mètres cubes de déblai, qui n'auraient d'ailleurs aucun emploi

utile au point de vue du problème à résoudre, et pour le dépôt desquels il faudrait faire en pure perte la dépense d'acquisitions de terrains.

Si, allant d'un extrême à l'autre, la ligne de terre sur laquelle serait construit le canal était prise au niveau même de l'étiage (chose d'ailleurs impossible, à moins de rester en rivière), toute la section d'écoulement serait formée par le remblai des digues, et le volume de ces remblais serait dans ce cas de 201 mètres cubes.

Ce parti serait moins coûteux sans doute que le premier, mais nous n'avons pas besoin d'insister pour faire comprendre combien il serait irrationnel à tous égards.

Or, si l'on étudie la décroissance que subit le volume des terres nécessaires pour la construction des digues, à mesure que leur relief au-dessus du sol diminue, on trouve les résultats suivants :

Pour	7m,50 de hauteur	201mc,	»	pour les deux digues.
	6 ,50	—	158	»	—
	5 ,50	—	120	»	—
	4 ,50	—	87	»	—
	3 ,50	—	59	»	—
	2 ,50	—	36	»	—
	1 ,50	—	18	»	—
	0 ,50	—	4	,60	—

On voit, d'après cela, que s'il ne s'agissait que de diminuer le volume des terrassements, on pourrait descendre à cet égard aussi bas qu'on voudrait. D'ailleurs, pour obtenir le reste de la section d'écoulement, il suffirait de mettre les digues à la distance

que le calcul montrerait être nécessaire pour cet objet. Mais alors les acquisitions de terrain pourraient être fort considérables, et feraient plus que compenser, dans certains cas, l'économie obtenue sur les terrassements. Il y a donc à établir une balance entre ces deux natures de dépenses qui agissent en sens contraire l'une de l'autre.

Il est de plus important d'observer que si nous avons reconnu que la section totale du canal doit être telle qu'elle donne au maximum un débit de 926 mètres cubes, c'est à la condition très-nécessaire que les combinaisons adoptées pour sa forme définitive auront pour résultat de donner, pendant les quatre-vingt-dix heures de l'écoulement, une moyenne à peu près régulière de 468 mètres cubes. Si cette condition n'était pas réalisée, le résultat prévu ne serait pas obtenu, et le canal n'aurait pas toute l'utilité sur laquelle on compte.

Par exemple, avec des digues qui ne s'élèveraient qu'à 2m,50 au-dessus du sol, et par conséquent avec des fouilles qui descendraient jusqu'à 5 mètres, le tableau ci-dessus montre que 36 mètres cubes de terre seraient suffisants. Or, avec la forme trapézoïdale que nous avons définie ci-dessus, il ne faudrait pas même s'abaisser jusqu'à 5 mètres pour obtenir ce volume; on voit donc qu'on rencontrerait pour premier inconvénient celui d'être obligé de faire un travail de déblai plus considérable que le nécessaire. Quant au débit maximum qui correspondrait à la section fouillée, il serait de 55 mètres cubes, de sorte que pendant tout le temps que la crue se serait élevée

de l'étiage à une hauteur de 5 mètres, c'est-à-dire pendant les deux tiers de son ascension, le débit moyen du canal n'aurait été que de 27^{mc},50, tandis que dans la supposition, assez peu éloignée de la vérité, où la crue s'élèverait proportionnellement au temps, il faudrait que le débit moyen fût d'environ 309 mètres. On voit, d'après cela, combien on serait loin de compte.

Ainsi, en résumé, on conclura de cette discussion que pour résoudre de la manière la plus convenable la question relative à l'établissement du canal, au double point de vue de l'économie des dépenses et de l'importante condition des écoulements réguliers qui y doivent avoir lieu, il faut procéder à diverses combinaisons, dans lesquelles on aura égard à la fois: 1° aux dépenses respectives des terrassements et des acquisitions de terrains; 2° aux deux divisions en lesquelles sera partagée la section totale, savoir: celle pratiquée dans les fouilles et celle comprise entre les digues formées par les remblais; 3° aux débits qui couleront dans chacune d'elles.

Nous ne rapporterons pas ici le détail des nombreux tâtonnements auxquels nons avons dû procéder pour essayer d'obtenir entre ces divers éléments le meilleur accord possible; nous nous bornerons à faire connaître le résultat de ces recherches.

Nous avons trouvé, savoir :

1° Que la ligne de terre la plus favorable serait celle qui aurait son niveau à 3 mètres au-dessus de l'étiage, ce qui assignerait par conséquent aux digues 4^{m},50 de hauteur; 2° que la distance entre la

ligne extrême des fouilles et le pied des digues devrait être de 27 mètres.

En conséquence, le volume des terrassements serait, d'après le tableau précédent, de 87 mètres cubes par mètre courant, et exigerait, avec des talus de un et demi de base pour un de hauteur, une largeur au plafond de 25 mètres; quant à la largeur totale de la zone à acquérir, soit pour les fouilles, soit pour l'emplacement des digues, soit pour la distance comprise entre ces deux ouvrages, et destinée à compléter la partie supérieure de la section d'écoulement, elle aurait une valeur de 118 mètres.

Nous ne voulons pas dire pour cela que, dans la localité qui nous occupe, les circonstances se prêteront à ce que la ligne de terre ci-dessus définie soit adoptée, et que quelques considérations, notamment celles relatives à un trop grand rapprochement des berges du fleuve, ne forceront pas à modifier un tel projet. Nous voulons seulement donner comme certain, que si cette ligne est possible, c'est elle qui, en satisfaisant convenablement aux exigences hydrauliques de la question, réalisera un minimum de dépense; si on est obligé de reporter le tracé du canal sur un relief plus élevé, la solution pourra être tout aussi bonne, mais elle coûtera plus cher.

Procédons maintenant à l'évaluation du coût des travaux.

Nous admettons que tous les terrassements seront employés sur place, en regard même des fouilles; la distance horizontale des transports sera d'un relai et demi qui, à cause de l'ascension verticale moyenne

des terres, doit être porté à deux; dans ces conditions, nous croyons rester dans les limites d'une évaluation modérée, en portant le prix du mètre cube à 0fr,70c, y compris le pilonage et le dressage des talus. Sur le canal latéral à la Garonne, l'évaluation primitive portait les terrassements au prix de 0fr,78c, et certes, à cette époque, la journée d'ouvrier ne valait pas ce qu'elle vaut aujourd'hui;

En conséquence les 87 mètres cubes, par mètre courant, coûteront, ci.	60fr,90c.
Les terrains, dans certaines parties de la vallée de la Loire, valent jusqu'à 20,000 fr. l'hectare; nous ne compterons pas même moitié; mais, comme on sait qu'en ces sortes de matières les surfaces achetées se payent toujours plus cher que leur valeur, nous ne croyons pas devoir descendre jusqu'au quart de cette somme. L'évaluation primitive de 5,539 fr. l'hectare pour le canal latéral à la Garonne a été notablement dépassée; sur les 91 millions dont les dépenses d'exécution des canaux entrepris depuis 1823 ont dépassé les prévisions, on en compte 23 uniquement destinés à satisfaire les exigences des propriétaires; nous croyons donc devoir adopter le prix moyen de 7,500 fr., ou 0fr,75c le mètre carré.	
En conséquence, les 118 mètres de terrain nécessaires, par mètre courant, coûteront. . . .	88 ,50
Ce qui donne, pour ces deux natures de dépenses.	148fr,40c.

La longueur totale du canal étant d'ailleurs d'environ 230 kilomètres, il en résulte que le prix de re-

vient des acquisitions de terrain et des terrassements seuls s'élèverait à la somme de 34,132,000. Et si l'on ajoute à cette dépense celle des ouvrages d'art qu'il faudra inévitablement construire à la traversée de toutes les voies de communication qui peuvent se rencontrer sur cette longueur de 60 lieues, ce ne sera rien exagérer, croyons-nous, que de porter à 40 millions le chiffre définitif des dépenses.

Or, qu'aura-t-on obtenu à ce prix? pas plus pour une partie très-limitée du cours de la Loire, que ce qu'auront produit pour la totalité du fleuve des réservoirs de 150 millions de mètres cubes, créés en amont de Roanne; on aurait en outre perdu le grand avantage de tenir en réserve des eaux précieuses pour les irrigations, on se serait privé des moyens de venir en aide à la navigation de nos rivières pendant les sécheresses, et on aurait enfin, malgré cela, plus que triplé les dépenses, puisque nous établirons que les travaux de réservoirs, ayant une capacité de 150 millions de mètres cubes, ne coûteraient pas plus de 12 millions.

Il n'en faut pas davantage pour prouver, avec la dernière évidence, combien les canaux de dérivation seraient, à tous égards, inférieurs aux moyens que nous avons développés dans le chapitre cinquième de cet écrit.

Le grand avantage des réservoirs permanents, et il importe d'insister sur ce point, c'est que leur efficacité s'exerce sur la totalité du cours du fleuve situé au dessous d'eux; il n'en est pas de même des canaux. Un ouvrage de ce genre, créé dans le but de

produire les mêmes effets que les réservoirs que nous proposons d'établir en amont de Roanne, devrait s'étendre depuis cette ville jusqu'à la mer, c'est-à-dire avoir une longueur au moins triple de celui que nous venons d'étudier; sa dépense s'élèverait donc à 120 millions, et serait par conséquent décuple de celle avec laquelle on peut obtenir, non-seulement les mêmes résultats au point de vue de la diminution des eaux d'inondation, mais encore les divers avantages que nous avons énumérés soit pour l'irrigation des terres, soit pour la navigation d'été sur nos fleuves.

Nous pensons avoir convaincu le lecteur de la grande infériorité des canaux de dérivation, comparativement aux réservoirs; mais si nous repoussons cette nature d'ouvrage comme système général de défense le long de nos fleuves, ce n'est pas à dire que nous voulons porter contre elle un arrêt de proscription absolue. Il peut y avoir des circonstances particulières dans lesquelles, malgré le prix élevé des canaux, malgré les étroites limites entre lesquelles se trouve resserrée leur utilité, la nécessité de leur construction devient manifeste. On conçoit, en effet, que si de grandes richesses, si de puissants intérêts se trouvent concentrés sur une petite étendue du cours d'un fleuve, on ne devra pas hésiter à multiplier autour de ces points les moyens de défense. Or, la plupart des villes que baignent les rivières sont dans ce cas, et comme alors il faut protéger, non-seulement le sol, mais les constructions qui s'y sont élevées, les valeurs considérables qui y sont déposées, la vie des

hommes qui y ont établi leur demeure, on ne devra pas reculer devant la dépense de la construction d'un canal de 4, 5 et même 10 kilomètres au besoin, pour défendre avec toute l'efficacité désirable, peut-être même avec excès, les zones exceptionnelles où le fléau des inondations frappe ses coups les plus multipliés et les plus redoutables.

Les exemples de ce genre de construction ne manquent pas en France; nous pouvons citer, dans la contrée que nous habitons, le canal de décharge de la Marne à Château-Thierry; mais, nous le répétons, il ne faut les considérer que comme des ressources locales accidentelles, et on doit se garder d'en faire labase d'un système général de défense contre les débordements.

Du système des rigoles horizontales creusées sur les terrains en pente.

Après la crue de la Loire en 1846, comme après les inondations qui ont signalé le printemps de l'année dernière, on s'est beaucoup occupé en France de toutes les questions relatives à l'écoulement superficiel des eaux; quelques idées utiles ont été à cette époque mises en avant par des hommes capables; elles ont été à l'ordre du jour pendant quelques mois, puis on les a oubliées, et on en est finalement revenu à l'ancienne routine des digues longitudinales. Il ne faut pas s'en étonner : c'est une épisode de plus à ajouter à cette perpétuelle histoire des oscillations humaines, dans lesquelles la force d'inertie joue le plus grand rôle. La science avait

voulu faire un mouvement en avant, mais bientôt les réactions de l'ignorance, de l'envie, de la paresse elle-même, qui consent quelquefois à faire un petit effort pour en éviter un grand, se sont attelées en sens contraire, et, après quelques mouvements alternativement progressifs et rétrogrades, dont les écarts ont été de moins en moins considérables, l'immobilisme a fini par triompher.

Parmi les idées qui furent alors produites, il en est une qui, si elle ne réalise pas à beaucoup près les espérances de l'auteur en ce qui concerne les inondations, peut du moins contribuer avec quelques avantages à combattre le fléau, et nous paraît d'ailleurs digne de fixer l'attention, par l'utilité de ses conséquences au point de vue agricole.

Nous voulons parler des propositions faites en 1847 par M. l'inspecteur divisionnaire Polonceau, et qui ont pour objet le creusement sur les terrains en pente de rigoles horizontales, fermées à leurs extrémités, formant une série de bassins susceptibles de conserver des quantités d'eau considérables, et très-propres, par conséquent, à diminuer l'amoncellement des eaux dans les fleuves; mais afin de n'apporter aucune altération dans la pensée de l'auteur, reproduisons ici les développements à l'aide desquels il l'a présentée lui-même, dans le numéro de février 1847 du *Journal du Génie civil* :

« Ce système, dit M. Polonceau, s'applique à tous « les terrains en pentes prononcées qui dominent « et bordent les gorges, les vallons des montagnes « et les parties supérieures des vallées ; il consiste à

« creuser, sur toutes les pentes, des rigoles horizon-
« tales larges et profondes, fermées à leurs extré-
« mités, pour recevoir et retenir les eaux pluviales
« à leurs points de départ, et les empêcher de des-
« cendre rapidement sur ces pentes, comme elles le
« font dans l'état naturel. Les eaux retenues dans
« ces rigoles, qui formeront des séries de petits ré-
« servoirs étagés les uns au-dessus des autres, à des
« distances qui seront déterminées pour chaque
« localité, ne pourront descendre aux vallons que
« très-lentement, après s'être infiltrées dans le sol;
« elles n'arriveront donc aux grandes vallées que
« fort longtemps après les chutes des pluies. Les
« rigoles pourront avoir généralement 1 mètre de
« largeur moyenne, sur 1/2 mètre de profondeur,
« et contiendront par conséquent 1/2 mètre cube
« d'eau par mètre courant.

« Ces rigoles étant très-multipliées, les volumes
« d'eau qu'elles arrêteront dans chaque vallon se-
« ront déjà considérables, mais elles rempliront en-
« core d'autres buts d'utilité; le premier, c'est que,
« même lorsqu'elles seront remplies, formant des
« gradins sur les pentes, elles feront diminuer la
« vitesse de descente des eaux qui excéderont leurs
« capacités, parce que cette vitesse sera rompue au
« passage de chaque gradin de niveau que les rigoles
« formeront, comme par les marches d'un grand
« escalier.

« Le second but d'utilité, c'est qu'en réduisant de
« beaucoup la vitesse d'écoulement des eaux plu-
« viales, ces rigoles les empêcheront de délaver, d'a-

« maigrir et de raviner les terrains en pentes, et que « de plus elles maintiendront sur ces terrains, par « l'infiltration lente de leurs eaux, une humidité « d'autant plus salutaire qu'ils sont généralement « arides, et elles les enrichiront par les vases et les « limons qui s'accumuleront dans les fonds, et que « l'on répandra sur ces terrains quand on curera « ces rigoles.

« Enfin, l'infiltration lente de leurs eaux augmen- « tera le produit des sources existantes, et même en « créera de nouvelles.

« Leur exécution ne consiste qu'en terrassements « simples et faciles à exécuter, sans exiger jamais « aucun travail d'art, parce que quand en les creu- « sant on rencontre un ruisseau, un ravin, un che- « min ou une arête de rocher, on se bornera à les « interrompre pour les reprendre du côté opposé.

« Ces rigoles peuvent être établies sur tous les ter- « rains, quelle que soit la nature de leur culture, « même quand ils sont en labours (qui, générale- « ment sur les terrains en pente, se font par raies « horizontales), parce que les rigoles d'infiltration « empêchent les eaux d'entraîner les terres mobili- « sées par la charrue, et qu'elles sont le seul moyen « d'irrigation qui leur soit applicable. De même, pour « les bois, il est prouvé, par des expériences nom- « breuses et faites en grand par M. Eugène Chevan- « dier, que les bois qui reçoivent des eaux d'infiltra- « tion par des rigoles horizontales ont une croissance « plus rapide, et donnent beaucoup plus de produits.

« Ce mode de retenue a encore un avantage pré-

« cieux, en ce qu'il conserve toute l'indépendance de « la propriété, attendu que pour les exécuter nul n'a « besoin du consentement des voisins, et que per- « sonne n'en souffre ou n'a droit de se plaindre ; c'est « simplement l'exercice du droit naturel de retenir « et d'utiliser les eaux pluviales à leur passage sur « son terrain, et en les employant à faire des irriga- « tions par infiltration.

« Enfin, l'établissement des rigoles horizontales « d'infiltration est le préalable nécessaire de tout re- « boisement sur les terrains en pente, et tout à fait « indispensable pour leur succès. »

Certainement il n'y a pas d'opération plus facile que celle qui consiste à ouvrir à la surface du sol des fossés horizontaux, et nous sommes tout disposé à croire que des travaux de ce genre produiraient sur beaucoup de terrains d'importantes améliorations, peut-être même, selon nous, est-ce là l'effet le plus directement utile du système de M. Polonceau. Toutefois, nous sommes obligé de constater que, même au point de vue agricole, quoique le prix de revient des travaux ne s'élève pas à plus de 30 fr. par hectare, et malgré l'initiative prise et les succès obtenus par quelques hommes intelligents, ce système n'a eu que que de très-rares applications.

Quelle différence entre le drainage qui, bien qu'il coûte moyennement huit fois plus cher, s'est propagé depuis trois ans avec une si remarquable rapidité ! Comment expliquer tant d'empressement d'un côté, et tant d'apathie de l'autre ? Par des motifs très-futiles quelquefois, mais profondément enracinés

dans le cœur de l'homme, très-difficiles à combattre, plus difficiles encore à faire disparaître.

Qui ne sait combien l'idée de la possession est tenace chez les petits propriétaires, et nous en avons considérablement en France ; qui ne sait combien d'entre eux ne craignent pas de s'exposer à de ruineux procès pour agrandir leurs champs par des anticipations souvent très-minimes sur les terres de leurs voisins? Or, établir tous les 66 mètres, comme le veut M. Polonceau, des fossés de 1^m,50 d'ouverture qui seront à jamais improductifs, c'est évidemment perdre du terrain, et l'on ne sait pas s'y résigner. On aura beau faire observer que le reste du champ y gagnera, qu'il y gagnera même beaucoup, qu'en deux années les dépenses de l'opération seront remboursées, qu'à l'avenir les revenus auront des augmentations certaines, considérables, cette idée persistante de perdre de l'espace pour la culture prédominera, et on restera dans l'abstention.

Avec le drainage, c'est tout le contraire qui arrive ; lorsque cette opération a été pratiquée sur une terre humide, les nombreux fossés dont il avait fallu la couvrir précédemment peuvent être remplis ; la charrue passe alors partout indistinctement, on a gagné du terrain, la séduction est puissante, et l'on est entraîné à faire des essais.

D'un autre côté, l'état permanent d'humidité des terres à drainer est toujours sous les yeux de l'agriculteur, en été comme en hiver, soit qu'il sème, soit qu'il récolte. Les inconvénients de l'entraînement des terres se présentent au contraire plus rarement, ils

ont quelquefois peu d'importance; plusieurs années peuvent s'écouler sans qu'ils se reproduisent; on perd assez vite le souvenir des mauvaises chances, on espère plus encore en l'avenir qu'on n'est disposé à utiliser l'expérience du passé, et parce que le mal n'est pas sans cesse persistant, on s'endort dans une fausse sécurité.

Que faire à cela? Lutter avec énergie contre de si funestes tendances. C'est ce que font quelques esprits éclairés, mais ce n'est pas en un jour qu'on peut obtenir raison des passions et des préjugés des hommes.

Quoi qu'il en soit, d'ailleurs, des motifs véritables qui se sont opposés à la réalisation des idées de M. Polonceau, que l'on ait eu tort ou raison de s'abstenir, ce qu'il importe surtout de constater ici, c'est le fait même de cette abstention; car, dès l'instant qu'un système qui est présenté comme ayant pour but une grande œuvre d'utilité publique, ne peut être exécuté que par des intérêts particuliers, et que ces intérêts, quelle que soit l'étendue des avantages qu'ils devraient retirer de cette exécution, prennent le parti de ne rien faire, lorsque d'ailleurs il est impossible de prévoir quel sera le terme où ce refus cessera d'exister, n'est-on pas forcé de recourir à d'autres moyens qui, alors même qu'ils ne posséderaient pas toute la puissance d'action des premiers, auront du moins pour eux la possibilité d'une exécution immédiate.

Or, quand on réfléchit au nombre considérable de propriétaires qui possèdent le sol de la France, au nombre plus considérable encore des parcelles de

ce sol, n'est-il pas permis de craindre que si quelques hommes intelligents cherchent, dans l'intérêt de leurs terres, à faire l'application isolée du système de M. Polonceau, il faudra attendre bien des années encore avant que cette application soit devenue assez pratique, assez générale, assez universelle, pour opposer une barrière suffisante au fléau des inondations.

Mais, pourrait-on dire, pourquoi l'Etat, cette grande association de tous les intérêts, n'intervient-il pas dans cette circonstance ? Pourquoi, si ce système est utile, persisterait-on à le laisser dans l'oubli ?

Ne serait-ce pas peut-être qu'on a instinctivement compris qu'il s'agissait plutôt ici d'une amélioration agricole que d'autre chose, et que les grands avantages des idées de M. Polonceau portaient plus encore sur la propriété que sur les inondations. S'il en est réellement ainsi, on s'expliquerait sans peine l'abstention de l'Etat ; car, quelque puissants que soient les motifs qui doivent le porter à être favorable à l'agriculture, il est impossible que sous le prétexte accessoire et contestable d'une amélioration dans le régime torrentiel de nos fleuves, il intervienne directement dans la question des intérêts agricoles. Ces intérêts sont trop puissants, trop multipliés ; les divers perfectionnements praticables sont trop nombreux, et exigeraient des capitaux trop considérables pour que l'Etat pût satisfaire à toutes les exigences. Or, payer le travail pour les uns, sans en faire autant pour les autres, serait une distribution très-injuste de la fortune publique. Les fonds de l'Etat ne

doivent sortir de ses caisses que pour acquitter les charges communes, les dépenses utiles à tous.

Au reste, ces diverses considérations ne sont pas restées étrangères à M. Polonceau lui-même ; il a très-bien compris les effets de l'inertie des propriétaires ; il s'est rendu compte des sommes qu'il faudrait dépenser pour réaliser ses projets, et comme ces sommes, ainsi que nous allons l'établir tout à l'heure, ne laissent pas que d'être très-considérables, il a dû reconnaître qu'il était impossible que l'Etat les prît à sa charge ; aussi se borne-t-il à solliciter de simples primes.

« Les rigoles horizontales, dit-il, sont, à mon avis, « les ouvrages les plus indispensables ; j'ai prouvé « que leur établissement est tellement dans l'intérêt « des propriétaires, qu'ils devraient les faire de leur « propre mouvement et sans qu'on les y obligeât ; « mais on ne pourra pas compter de sitôt sur la per- « suasion générale d'un si grand nombre de person- « nes, et, pour obtenir la réalisation de cette mesure, « il faudrait, en la prescrivant, l'aider et l'encourager « au moyen de primes qui seraient payées par l'Etat « et les départements. »

Ces primes, d'après M. Polonceau, devraient être égales au sixième du montant des dépenses.

Le prix de revient de 30 fr. par hectare se trouverait donc réduit pour le propriétaire à 25 fr. Or, il est permis de douter que cette différence constituât un suffisant appât pour détruire d'anciens préjugés, pour vaincre les résistances, et déterminer subitement les propriétaires du bassin supérieur de

la Saône, dont M. Polonceau s'occupe spécialement, à dépenser en cinq ans les 50 millions qui resteraient encore à leur charge. L'auteur le croit si peu lui-même, qu'il n'hésite pas à appeler à son aide la contrainte légale.

« D'après les considérations qui précèdent, dit-il, « je pense que l'on peut et que l'on doit, sans hésita« tion et sans scrupule, ordonner par une loi, comme « mesure d'intérêt public, l'établissement dans tous « les bassins des fleuves et des grandes rivières des « rigoles horizontales, des réservoirs temporaires et « des bassins de limonage. »

Il faudrait, selon nous, que l'utilité publique fût au suprême degré engagée dans la question ; il faudrait que les moyens proposés fussent bien infaillibles, bien indispensables ; il faudrait que leurs avantages fussent bien grands, et leurs inconvénients nuls, pour que des dispositions aussi coercitives que celles que propose l'auteur vinssent trouver place dans nos lois. Car il ne s'agit plus ici des cas ordinaires d'expropriation dans lesquels, lorsque l'Etat veut disposer d'un terrain, il l'achète d'abord et y exécute ensuite, à ses frais, les travaux nécessaires. Ici, au contraire, non-seulement l'Etat n'achèterait rien, mais encore il n'exécuterait pas. Travaux et terrains, tout serait à la charge des propriétaires. Ce serait de l'expropriation forcée au troisième et quatrième degré.

Occupons-nous donc maintenant d'étudier le système de M. Polonceau, moins encore au point de vue agricole, comme nous l'avons fait jusqu'ici, qu'à

celui de sa véritable utilité contre les inondations. Voyons s'il est réellement infaillible, indispensable, si sa supériorité sur tous les autres en rend l'adoption obligatoire.

Rappelons d'abord que les rigoles ont $0^m,50$ au plafond, $0^m,50$ en hauteur, et par conséquent $1^m,50$ en gueule ; il résulte de ces dimensions qu'elles contiendront un demi-mètre cube par mètre courant. Comme elles sont espacées entre elles de 66 mètres, il s'ensuit que le rigolage de chaque hectare aura une capacité moyenne de 75 mètres cubes.

M. Polonceau a fait l'application de ses idées au bassin de la Saône, et il trouve que l'établissement complet du système de rigolage sur l'ensemble des terres de ce bassin produirait une retenue d'eau de 150 millions de mètres cubes ; c'est un peu moins que le volume de 175 millions qui, d'après nos recherches, devrait être emmagasiné dans les réservoirs à construire sur la Loire, en amont de Roanne. Mais comme la différence n'a qu'une assez faible importance, il nous sera facile de comparer ses idées avec les nôtres au point de vue de la dépense. Or, puisque chaque mètre courant de rigole contient un demi-mètre cube d'eau, il en faudra 300 millions de mètres pour retenir les 150 millions ci-dessus ; d'ailleurs, M. Polonceau admet une dépense de 20 centimes par mètre courant de rigole ; par conséquent, l'ensemble du travail coûterait 60 millions. Mais, dans le système des réservoirs, l'emmagasinement du même volume d'eau n'en exigerait que 12. On voit donc qu'en mettant de côté les considérations

agricoles, et en se renfermant dans le cercle de la question hydraulique, les réservoirs ont un immense avantage sur les rigoles.

Mais ce n'est pas tout : le système de M. Polonceau, introduit dans la vallée de la Loire, n'aurait pas seulement l'inconvénient d'exiger une dépense quintuple, il serait inapplicable, faute d'espace ; il conduirait à une impossibilité.

En effet, nous venons de constater que les retenues d'eau par les rigoles devaient être fixées au taux de 75 mètres cubes par hectare. Si l'on divise les 150 millions à emmagasiner par 75, on trouvera que le nombre d'hectares nécessaires devrait avoir une valeur de 2 millions. Or, la totalité du bassin de la Loire supérieure à Roanne n'en contient que 640,000, un peu moins du tiers de la quantité nécessaire. Ce n'est donc pas 150 millions de mètres cubes, mais 50 seulement qu'on pourrait emmagasiner en amont de Roanne, ce qui réduirait considérablement l'efficacité du remède, et encore supposons-nous que la totalité de ces 640,000 hectares, sans aucune exception, serait apte à recevoir des rigoles, ce qui ne serait vrai, ni pour les terrains de rocher, ni pour ceux qui, occupant les plateaux et les fonds des vallées, ne présentent aucune prise à l'action du ravinement.

Il est en effet très-important de remarquer à ce sujet qu'il ne suffit pas, pour remplir le but qu'on se propose, d'établir la possibilité de créer, à un point de vue général, tel ou tel volume de retenue dans le bassin d'un fleuve ; il faut encore que cette retenue

puisse être obtenue dans une partie déterminée du cours de ce fleuve.

Ainsi, dans le cas actuel, ne pas soustraire 150 millions de mètres cubes au moins aux écoulements de la Loire, à partir de Roanne, ce serait laisser exister de grands dangers, non-seulement en amont de cette ville, mais encore dans toute la partie de la vallée comprise entre elle et le point où les 150 millions pourraient enfin être retenus par les rigoles, ce qui nous conduirait à peu près jusqu'à Nevers. Mais là se rencontre l'Allier, sur lequel d'autres retenues doivent aussi être faites; le mal se propagerait donc encore plus loin, et chaque affluent important serait de nature à lui faire reprendre son intensité. On arriverait ainsi jusqu'en des points situés d'autant plus loin dans les parties inférieures des vallées, que la nécessité agricole du rigolage devient en général moins impérieuse à mesure qu'on approche davantage des embouchures, parce que les escarpements sont moins rapides et moins étendus, tandis que les plaines, au contraire, s'élargissent davantage.

C'est là un des points les plus importants de la critique qu'on peut faire du système de M. Polonceau, et l'auteur ne paraît pas s'être occupé de cette catégorie de supputations, qui est pourtant si essentielle en cette matière.

Il est en outre nécessaire de remarquer, et cet ordre de considérations est très-dominant dans le débat, que les moyens indiqués par M. Polonceau peuvent, ou échouer complétement, ou ne produire, suivant les circonstances, qu'une très-minime partie

des heureux résultats qu'on en attend. En effet, il ne faut pas perdre de vue que les capacités ouvertes aux eaux par les rigoles sont fermées; que, par conséquent, on n'est nullement le maître de faire qu'à telle ou telle autre époque elles contiennent ou ne contiennent pas de liquide; qu'il est fort possible qu'au moment où un débordement va survenir, elles soient occupées en partie ou en totalité par de l'eau précédemment recueillie; que, par conséquent, dans le premier cas, leur efficacité pourra être considérablement amoindrie, et, dans le second, complétement nulle.

Il n'en est pas ainsi pour les réservoirs, auxquels seront appliqués de puissants moyens d'évacuation, qu'on pourra tenir complétement à sec, non-seulement avant le moment des crues, mais encore plusieurs heures après qu'elles auront commencé, et dont on sera toujours en mesure de faire fonctionner la retenue à l'instant même où les événements viendront eux-mêmes en démontrer la nécessité. C'est là une faculté précieuse de laquelle doit dépendre presque toujours le succès des mesures prises contre les inondations. Or, cette faculté, il faut le dire, présente une fâcheuse lacune dans le système de M. Polonceau.

Ce système, en un mot, pour être efficace, devrait toujours présenter des capacités vides au moment des crues. Or, qu'elles soient vides ou pleines à ce moment, c'est un point qui dépend des sécheresses ou des pluies antérieures, et sur lequel l'intervention de l'homme n'a aucune prise.

Il importe aussi d'envisager les rigoles à un point

de vue autre que celui des inondations. Nous avons déjà fait remarquer que, d'après les idées de l'auteur, leur capacité doit être fermée, et qu'elles ne laissent échapper l'eau que quand elles sont complétement remplies. Il résulte de là qu'elles arrêteront les pluies en toute saison. Or, si ce résultat est avantageux à l'époque des grandes perturbations atmosphériques, il peut avoir de grands inconvénients pour les pluies ordinaires du printemps et de l'été. On sait que c'est dans la première saison que prédomine l'importance des irrigations; on sait, en outre, que c'est dans la seconde que les eaux de nos fleuves sont le plus amoindries. Or, il serait fort à craindre, si le système de rigolage se généralisait, que nous tombassions dans une disette générale d'eaux courantes dans ces deux saisons. Ce point est trop important pour que nous ne lui consacrions pas quelques explications.

Les rigoles, une fois ouvertes, présenteront une série de bassins qui rempliront le double office, d'abord de recueillir les eaux de pluie au moment de leur chute, en second lieu de les laisser évaporer à leur surface, ou de leur permettre de s'infiltrer dans les terres.

Or, la hauteur de la tranche moyenne d'évaporation pour toute l'année est de $0^m,004$ par jour; mais, dans l'été, elle est beaucoup plus considérable, et on compte généralement qu'elle s'élève au double.

Il suit de là que, dans un mois d'été, la hauteur de la tranche totale évaporée sera de $0^m,240$. On peut donc compter que, la largeur moyenne de la surface évaporatoire des rigoles étant de $1^m,26$, il

se perdra ainsi, par mètre courant $0^{mc},30$ d'eau. D'ailleurs, le nombre de mètres courants par hectare étant de 150, la perte totale d'eau correspondant à 1 hectare sera de 45 mètres cubes.

D'un autre côté, les rigoles en laisseront aussi perdre une partie par voie d'absorption. Dans les idées de M. Polonceau, cette perte aurait même une assez grande valeur; toutefois, comme les égouttements d'une rigole peuvent se rendre en partie dans la suivante, nous limiterons ce déficit au tiers seulement du précédent; la perte totale de l'écoulement de surface par mois et pour chaque hectare sera donc de 60 mètres cubes.

Or, nous avons établi que la moyenne de la tranche d'eau pluviale en France est de $0^{m},719$ pour l'année, soit $0^{m},06$ en moyenne par mois. Cela produira donc sur les 10.000 mètres carrés dont se compose un hectare la quantité de 600 mètres cubes. Mais toute cette quantité ne coulera pas sur le sol, l'absorption et l'évaporation à la surface des terres en fera disparaître une grande partie. On estime généralement que cette perte, pendant la saison chaude, est comprise entre les 5/7 et les 6/7 de la pluie. Opérant cette réduction, il restera pour l'écoulement de surface environ 129 mètres cubes; c'est sur cette quantité que la construction des rigoles opérera un retranchement de 60 mètres cubes, c'est-à-dire de près de moitié.

Un tel résultat mérite d'être pris en sérieuse considération. Lorsqu'on réfléchit aux faibles volumes d'eau que nos rivières laissent couler en été, ce n'est

pas sans quelque inquiétude qu'on peut envisager des travaux qui auraient pour résultat infaillible de les appauvrir dans une proportion telle que la navigation y deviendrait à peu près impossible pendant quatre ou cinq mois de l'année.

Ainsi, on le voit, à mesure qu'on entre plus profondément dans l'examen du système de M. Polonceau, son utilité hydraulique s'atténue de plus en plus; ses dépenses sont excessives; la possibilité de son exécution est fort hypothétique, si on laisse les volontés libres, et hérissée des plus graves difficultés, si on veut les contraindre; son action ne pourrait, dans beaucoup de bassins, être généralisée au degré voulu, faute d'espace; son efficacité pourrait être en défaut dans les circonstances les plus critiques; enfin, pendant le printemps et pendant l'été, où les terres et les rivières ont un si grand besoin d'eau, il ferait subir aux écoulements superficiels des réductions qui deviendraient de véritables calamités.

Il ne reste donc guère à ce système que ses avantages agricoles, sur lesquels, d'ailleurs, il serait nécessaire que la discussion s'établît, et qui n'ont été que fort peu expérimentés jusqu'ici. Peut-être même sera-t-on convaincu, par les détails qui précèdent, qu'au cas où ces avantages existeraient en effet pour les terrains sur lesquels les rigoles seraient ouvertes, il n'est que médiocrement à regretter, à d'autres points de vue, que la mise en pratique de ces travaux soit à peu près complétement restée dans l'oubli.

Du ravinement des montagnes par les torrents.

Jusqu'à présent, nous avons principalement porté notre attention sur les effets produits par les inondations, dans les vastes plaines des vallées et dans les centres de population qu'on y rencontre; nous avons indiqué les moyens de diminuer les masses d'eau affluentes, nous avons fait voir qu'il était possible de prendre des mesures telles que les vitesses d'écoulement fussent très-sensiblement amorties dans ces plaines, et qu'à ces conditions il y avait plus d'avantages que d'inconvénients à permettre l'introduction des eaux sur les terres; mais, dans les pays montagneux et à pentes abruptes, il faut recourir à d'autres procédés. De simples digues en terre, outre qu'elles devraient se suivre à des distances très-rapprochées, à cause des grandes inclinaisons du sol, seraient tout à fait insuffisantes pour arrêter la violence des eaux courant dans leur lit sous forme de torrents; elles seraient promptement détruites, et il faudrait recommencer le travail après chaque orage.

Il ne faut pas croire, d'ailleurs, que, quelque déplorables que soient les dégâts occasionnés par les eaux dans les pays de montagnes, leur intensité soit comparable à celle des désastres qui affligent les parties basses des vallées; s'ils offrent des tableaux d'une nature plus saisissante, si la grande vitesse des courants, si le ravinement des terres, si la destruction des rochers et le transport de leurs blocs détachés font naître plus directement dans l'esprit l'image de

la destruction, on ne perdra pas de vue que, d'une part, les terrains ravagés sont loin d'avoir la valeur de ceux de nos grandes vallées, que, d'autre part, si, sur quelques surfaces de thalweg, on observe des désordres exceptionnels, ces surfaces n'offrent que de petites dimensions, soit en longueur, soit en largeur, arrêtées qu'elles sont par les ondulations d'un sol qui se relève promptement autour d'elles.

Serait-ce à dire pour cela qu'il ne faut pas tenir compte de ces dommages, et qu'on ne doit pas s'appliquer à les faire disparaître? Non, sans doute; et il est d'autant plus utile d'y remédier que les moyens mis en œuvre pour les combattre serviront de protection, non-seulement à la localité même, mais encore à tous les terrains situés en aval. Heureusement, cette loi générale de protection providentielle, qui place toujours le bien à côté du mal, et qui ne demande que l'intervention de l'homme pour que le premier vienne se substituer au second, ne nous fera pas défaut en cette circonstance. Si, dans les contrées où les eaux n'entraînent avec elles que des matières terreuses, de simples digues en terre sont suffisantes, dans celles, au contraire, où des matériaux plus résistants deviennent nécessaires, où les pierres doivent remplacer les terrassements ordinaires, la nature s'est chargée de nous les fournir elle-même; c'est là qu'elle a placé, en longues et hautes assises, ces bancs de rochers où nous trouverons la matière nécessaire pour l'œuvre de réparation; elle a fait plus encore, elle a travaillé à la division des masses par les effets combinés de toutes

ses actions : des vents, de la pluie, des gelées, des sécheresses, des phénomènes électriques; et, mettant en œuvre les mêmes courants qu'il s'agit ici de combattre, elle s'en est servie pour transporter ces débris sur les lieux mêmes de leur emploi et pour les y déposer en fragments d'autant plus volumineux, que la force à laquelle ils doivent résister est plus énergique.

Du système de barrages et de digues du commandant Rozet et de ses avantages.

M. le commandant Rozet, sans envisager le phénomène des inondations dans toute son étendue, s'est spécialement occupé des travaux à faire sur les torrents situés à l'origine de nos grandes rivières et à celle de leurs affluents; ses idées et ses procédés, qui ont fait l'objet d'une communication à l'Académie des sciences, sont en tout semblables aux nôtres; il n'y a de changé que la nature des matériaux à mettre en œuvre, changement imposé par la différence des situations.

Il barre les torrents dans leurs gorges étroites, et y crée, par conséquent, des réservoirs; il régularise à l'aval l'écoulement des eaux par un canal dont les berges sont en partie naturelles, en partie artificielles, et qui représente le lit ordinaire des fleuves dans nos vallées basses; il aligne la berge artificielle en massifs séparés entre eux par des vides pour laisser passer les eaux, disposition qui reproduit les vannages que nous proposons d'établir dans le corps des digues longitudinales pour le cas où celles-ci

doivent être conservées; il échelonne enfin sur les terres voisines des obstacles transversaux ayant pour but d'arrêter les vitesses et de favoriser le colmatage, comme nous le proposons nous-même pour les plaines à l'aide de digues transversales. Nous n'avons donc rien de mieux à faire que de reproduire ici ses idées, et nous empruntons à cet effet le passage suivant du journal *le Cosmos* [1], dans lequel elles sont clairement développées.

« M. Rozet établit d'abord qu'il ne peut exister « de torrent, proprement dit, que dans les endroits « où les talus marneux sont à découvert sur une « grande élévation. Il constate en outre que les af- « fluents des rivières et les rivières elles-mêmes sor- « tent de cirques ou enceintes circulaires plus ou « moins considérables, dont l'origine peut être due « à des dépressions de sol au sein desquelles l'action « corrosive des eaux s'exerce depuis la formation « des montagnes. Les flancs de ces cirques présen- « tent nécessairement des talus marneux couronnés « par des escarpements de calcaire compacte qui ont « jusqu'à 1,000 mètres de profondeur. Ces talus sont « sillonnés de ravins plus ou moins profonds, qui « viennent tous aboutir à un grand canal creusé « dans le fond du cirque, et dans lequel se rendent « les eaux qui coulent de ses flancs. Le canal sort du « cirque par une gorge plus ou moins étroite, bor- « dée de rochers à pic souvent très-élevés, et consti- « tue avec le cirque ce qu'on nomme le *canal de ré-*

[1] Numéro du 13 juin 1856.

« *ception*. Ce canal est rarement simple; il se divise « en plusieurs branches qui viennent en général se « réunir en un gros tronc dont le sommet est plus « ou moins éloigné de la gorge du cirque; il contient « presque toujours des amas considérables de débris « pierreux.

« Lors des orages, l'immense quantité d'eau tom- « bée venant s'accumuler sur le fond du cirque, à « cause du peu de largeur de la gorge, souvent ob- « struée par des amas de pierres, acquiert bientôt « une force à laquelle rien ne peut résister. L'eau « se précipite alors par la gorge, emportant tout ce « qui se trouve devant elle. Au sortir de cette gorge, « débouchant sur un sol plus étendu et moins in- « cliné que celui du fond du cirque, elle s'étend, « perd notablement de sa vitesse, et laisse déposer « une grande partie des matériaux qu'elle charrie; « elle couvre ainsi de débris un espace conique plus « ou moins étendu, appelé *lit de déjection*. L'eau, « débarrassée d'une grande partie des matériaux « qu'elle entraînait, se rend vers le lit de la rivière, « en coulant sur une surface appelée *lit d'écoule- « ment*. Le torrent complet se compose donc de « quatre parties : *bassin de réception*, *canal de ré- « ception*, *lit de déjection* et *lit d'écoulement*.

« Sur chaque côté d'une rivière un peu considé- « rable il existe un certain nombre de torrents pré- « sentant toutes les parties que nous venons de dé- « crire; ils sont d'autant plus considérables qu'ils « sont plus voisins de la source de la rivière où les « montagnes sont le plus élevées. Le lit de ces ri-

« vières présente une suite d'étranglements et de « renflements fort remarquables. Les renflements « offrent de grandes plages couvertes de cailloux et « de quelques petits dépôts de limon, et c'est là qu'il « est possible de reprendre une grande partie du « terrain envahi par les dépôts pierreux, non pas en « opérant sur place, comme on l'a tenté tant de fois « sans presque aucun succès, mais en remontant à « la source du mal, en détruisant progressivement « la vitesse de l'eau depuis le canal de déjection jus- « qu'au renflement, en la forçant par là même à dé- « poser les matériaux qu'elle charrie, et à ne plus « apporter sur le renflement que le limon fertilisant.

« Les premiers travaux doivent avoir pour but « d'empêcher les débris pierreux de s'accumuler « dans les canaux de réception, ou d'en sortir quand « ils y sont accumulés. Parmi les pierres tombées « des escarpements, il en est de très-grosses, de 2 « à 4 mètres cubes, que les eaux ne déplacent ja- « mais; on les fera rouler jusqu'au pied des pentes, « de manière à augmenter la hauteur et la force des « revêtements pierreux des talus, pour empêcher « les matériaux d'éboulement d'arriver au canal de « réception. A bras d'homme, à l'aide de la poudre, « on les accumulera dans la gorge du cirque, de ma- « nière à l'obstruer jusqu'à la hauteur où le cirque « s'élargit notablement par l'écartement de ses « flancs, et à former ainsi une digue perméable ou « criblante qui laisse passer l'eau en arrêtant les dé- « bris pierreux, qui force la nappe d'eau surabon- « dante à s'élargir, à perdre de son épaisseur et, par

« suite, de sa force de transport. L'ancien lit de « déjection par là même n'augmentera plus, et on « pourra souvent rendre à l'agriculture une portion « de terrain assez étendue pour payer les dépenses « déjà faites.

« Sur les points où les gorges ne sont pas com- « prises entre des rochers, on pourra les remplir « par des blocs faits de toutes pièces avec de la chaux « hydraulique et les débris pierreux toujours très- « abondants, de manière à empêcher, dans tous les « cas, une grande partie des matériaux de sortir du « bassin de réception.

« Voilà pour la source du mal; arrivons au mal « lui-même. On fera pour les étranglements ce que « l'on a fait pour la gorge du cirque. Si, comme c'est « le cas le plus ordinaire, ils sont formés par des « rochers s'élevant à une grande hauteur et s'écar- « tant progressivement, avec de la poudre ou autre- « ment, on fera tomber ces rochers dans le canal, « de manière à former une barre criblante par-des- « sus laquelle l'eau passera dans les grandes crues, « laissant au fond les fragments pierreux et n'en- « traînant presque que du limon, ayant perdu une « grande partie de sa vitesse et devenue facile à gou- « verner et à étendre.

« En examinant, pendant les sécheresses de l'été, « les plages des renflements, on voit que le cours « d'eau qui les traverse se divise ordinairement en « plusieurs branches ; la plus considérable suit la « zone de la plus grande pente et passe au pied « des escarpements ; les autres branches peuvent être

« facilement comblées à leur origine ou forcées de « se rendre toutes ou à peu près toutes dans la pre- « mière, à la condition qu'on la transformera en « une sorte de canal d'écoulement. Or, voici comment « on peut y parvenir.

« Au-dessous de la digue criblante, et la largeur « que l'on veut donner au canal d'écoulement étant « fixée, on établira une ligne de blocs naturels ou « artificiels, parallèles à l'axe du canal, hauts d'en- « viron 1m,60, afin que leur sommet dépasse toujours « la zone des eaux torrentielles dans laquelle se « trouvent les cailloux transportés, et distants les « uns des autres de 10 mètres. L'expérience a prouvé « qu'une pareille ligne de blocs diminue assez la vi- « tesse de l'eau sur toute la largeur pour détermi- « ner le dépôt des cailloux, qui s'opère par bande « étroite le long de la ligne, tandis que l'eau qui « passe pour aller inonder la portion à conquérir « ne contient plus que du limon. Pour diminuer en- « core la vitesse des eaux et les forcer à déposer leur « limon, il suffira d'établir des traverses échelon- « nées les unes au-dessus des autres, élevées et dis- « tancées proportionnellement à la pente. Pour faire « ces traverses, il suffira d'ouvrir de simples fossés, « d'une largeur plus ou moins considérable, dont « on jettera la douve en aval, pour que les cailloux « ne soient pas rejetés dans le fossé par la poussée « de l'eau. Les traverses ainsi établies détruiront tous « les petits filets d'eau qui actuellement sillonnent « les plages; en franchissant chaque traverse, l'eau « perdra une partie de sa vitesse et déposera une

« partie de son limon ; il suffira d'un petit nombre « de crues pour recouvrir toute la plage d'une cou- « che épaisse de limon.

« S'il arrive qu'on ne puisse se procurer à bon « marché des blocs naturels d'un mètre cube, on les « construira en pierres, unies par de la chaux hy- « draulique faite avec le calcaire du lias, qu'on « trouve presque partout dans les Alpes.

« M. Rozet a fait pour une plage particulière si- « tuée près de Nice, sur les bords de la Bléonne, le « calcul des dépenses qu'il faudrait faire pour recon- « quérir, par son système, une certaine quantité de « terrains envahis par le torrent. Il trouve que l'hec- « tare reconquis coûterait 116 fr. Or, le terrain « cultivé, au contact de cette même plage, se vend « 1,500 fr. l'hectare. L'opération serait donc gran- « dement avantageuse. La dépense, en général, « ne dépassera pas 100 francs par chaque hectare, que « l'on pourra vendre immédiatement 1,000 fr.

« Les travaux à faire sont d'ailleurs partout d'une « exécution facile ; ils pourront toujours être donnés « à l'entreprise ; il suffira d'un conducteur ou deux « par rivière.

« L'entrepri se derendre à l'agriculture les terrains « dévastés par les torrents ne peut pas être faite par « le gouvernement ; on ne peut pas non plus compter, « pour la mener à bonne fin, sur l'initiative des pro- « priétaires intéressés ; il faut donc de toute néces- « sité en faire l'objet d'une spéculation commerciale, « organisée par des Compagnies que le gouverne- « nement autoriserait et auxquelles il accorderait le

« bénéfice de la loi d'expropriation forcée pour cause « d'utilité publique.

« Les travaux dont je viens de parler, dit en finis- « sant M. Rozet, convenablement exécutés le long « des rivières torrentielles des Alpes, rendraient, en « moins de deux ans, à l'agriculture la plus grande « partie des terrains que ces rivières ravagent depuis « des siècles, et la vie aux contrées qu'elles traver- « sent. Comme ils auraient pour premier résultat de « retarder considérablement l'écoulement des eaux « qui tombent dans les bassins de réception, ils con- « tribueraient, et puissamment peut-être, à empê- « cher ou à amoindrir ces grandes inondations des « fleuves et des rivières qui désolent en ce moment « une partie de la France. »

Nous ne nous attacherons pas à discuter ici quelques détails des constructions proposées par M. Rozet; nous n'examinerons pas s'il ne sera pas toujours plus avantageux d'employer pour cet ordre de travaux des blocs naturels, dût-on même les payer un peu plus cher, que des massifs de béton; nous ne pensons pas non plus qu'il soit nécessaire de s'arrêter sur quelques-unes des dimensions indiquées par l'auteur, soit pour ce qui concerne les niveaux supérieurs, soit pour ce qui concerne certains détails sur lesquels, à l'époque de l'exécution des projets, une discussion spéciale, un examen attentif des ressources offertes par les localités apporteront le contingent nécessaire de rectifications, et sur lesquels il faudra peut-être que l'expérience de quelques années soit consultée. Car nous devons ici, ainsi que nous avons eu occasion

de le répéter plusieurs fois, nous occuper surtout de la généralité des vues et de leur opportunité, plus, encore que de l'excellence de quelques détails. A cet égard, nous sommes convaincu que les travaux décrits par M. Rozet seront dans leur ensemble d'une grande utilité, et cela nous suffit pour conclure qu'ils doivent trouver place dans la généralité des mesures à adopter pour combattre les inondations.

Quant aux moyens proposés pour l'exécution, nous sommes médiocrement prévenu en faveur de l'intervention commerciale. L'expérience prouve qu'elle ne réussit en agriculture qu'aux dépens de la chose même; ce n'est guère que dans les entreprises d'achat et de revente des propriétés, d'abatage de bois, de démolitions de châteaux, de tout ce qui est destruction, en un mot, que ces sortes de spéculations ont eu quelques succès pour ceux qui les ont entreprises; mais leur action, dans certaines contrées, s'est montrée plutôt funeste qu'utile à la question agricole. Dans les autres cas, et notamment en ce qui concerne les marais, elle a été presque toujours désastreuse pour les entrepreneurs. Nous avons passé plusieurs années de notre carrière à nous occuper de dessèchements, et c'est à peine si nous pourrions citer deux opérations qui aient donné du bénéfice aux Compagnies qui les ont tentées. Il nous serait facile, au contraire, de montrer par plusieurs exemples qu'elles ont été presque toujours très-fructueuses, lorsque ce sont les communes où les propriétaires intéressés qui, sous la tutelle immédiate et avec l'appui bienveillant de l'administra-

tion, se sont déterminés à opérer pour leur propre compte. En ce moment, nous n'insisterons pas plus longuement sur cette question de voies et moyens que nous nous proposons de traiter en détail dans le dernier chapitre de cet écrit.

Observations sur les forces de transports et sur les atterrissements des fleuves dans les parties non montagneuses des vallées.

Une grave difficulté a longtemps préoccupé et préoccupe encore les hommes spéciaux, au sujet de la force d'entraînement des rivières, et c'est ici le lieu de s'en occuper.

Lorsqu'on est témoin, d'une part, des effets de transport produits par la vitesse des eaux dans les parties supérieures des bassins; lorsque, d'autre part, on voit, dans les parties plus basses, les courants des hautes eaux se développer avec une grande violence; lorsqu'enfin on remarque que, même après que les rivières sont sorties des montagnes proprement dites, leur lit est souvent encombré d'une quantité considérable de matières roulées, on est conduit à penser que, de nos jours, ce n'est pas seulement en descendant des flancs escarpés où se trouvent les origines de nos cours d'eau que les forces de transport exercent leur action, qu'il en est de même dans la région des plaines, avec moins d'intensité, sans doute, mais à un degré toutefois dont il pourrait être imprudent de ne pas tenir compte.

Il importe de discuter sérieusement cette question, car la nature des travaux à exécuter dans les plaines

pourrait être très-directement influencée par le sens positif ou négatif de la solution à laquelle on sera conduit.

D'ailleurs, en procédant à cet examen, nous compléterons ce que nous avons à dire au sujet des effets des barrages, que nous n'avons pu examiner dans ce qui précède qu'au point de vue du relèvement des eaux, et auxquels on a reproché cependant un autre inconvénient, celui de provoquer dans les lits des rivières des atterrissements qui en exhaussènt le fond : question très-grave, qui intéresse à la fois l'agriculture et la navigation, et sur laquelle il importe d'avoir des idées précises.

Sans même descendre jusqu'aux embouchures, il est facile de se convaincre que la plupart des rivières, dans la partie inférieure de leur cours, ne présentent plus de vestiges de cailloux. Il en est ainsi du Rhône, de la Garonne, de la Loire, de l'Adour, de la Seine, de la Somme ; de sorte qu'en France, si on excepte quelques petits torrents qui, de l'extrémité de la chaîne des Pyrénées ou de celle des Alpes maritimes, déversent directement leurs eaux dans la mer, il n'existe pas de rivière qui roule ses cailloux jusqu'à son embouchure. Nous n'ignorons pas que quelques ingénieurs, en assez petit nombre d'ailleurs, ont émis l'opinion que, dans les cours d'eau, les graviers se déplacent et descendent incessamment. Mais plus on a examiné de près cette question, plus on s'est appliqué à interroger les faits, plus les réponses qu'on a obtenues se sont montrées négatives.

M. Baumgarten, qui s'est occupé de cet objet, au

sujet de la Garonne [1], arrive à cette conclusion, basée sur des expériences directes, que les graviers de cette rivière marchent très-peu et que leurs déplacements sont tout à fait locaux; qu'ils proviennent, en général, des bancs de graviers contemporains d'un grand cataclysme, bien antérieurs aux temps actuels, bancs que l'on trouve à une très-grande hauteur au-dessus des fortes crues; qu'il n'en descend guère ou pas du tout des montagnes actuelles; qu'enfin, à partir de Rioms ou de Langoiran, on ne rencontre plus de ces graviers dans la Garonne.

Dans ses remarquables études sur la navigation des rivières à marées, M. Bouniceau s'exprime ainsi (page 17):

« On peut établir comme un fait général, d'après « de la Bèche, que les rivières dont le cours est ra- « pide et peu étendu entraînent les galets jusque « dans les mers voisines, comme cela a lieu dans les « Alpes maritimes; tandis que celles dont le cours « est long et devient lent, de rapide qu'il était d'a- « bord, déposent les cailloux là où la force du cou- « rant diminue, et ne transportent finalement que du « sable ou de la vase à leur embouchure.

« Il résulte des observations que nous avons faites « nous-même sur un grand nombre de rivières, qui « ne peuvent être comparées aux torrents alpins, « mais qui occupent tous les autres degrés de l'é- « chelle et forment le groupe important des rivières

[1] *Annales des ponts et chaussées*, année 1848, 2me semestre, p. 12 et suivantes.

« navigables dans la partie inférieure de leur cours, « qu'elles ne transportent elles-mêmes à la mer que « du sable ou de la vase. Nous citerons la Somme, « la Vire, les rivières du Cotentin, la Vilaine, la Cha- « rente, l'Adour, la Tamise, la Mersey, l'Irvelle, la « Saverne. »

Dans les *Annales des ponts et chaussées* [1], nous lisons le passage suivant, extrait d'un Mémoire de MM. Legrom et Chaperon, qui ont fait d'intelligentes études sur le Rhin :

« Les rivières transportent encore sans doute à de « grandes distances des vases et des sables fins, mais « elles ne charrient presque point de débris de ro- « ches et de cailloux roulés. Les grèves dont leur lit « est encombré éprouvent des déplacements acciden- « tels plutôt qu'un transport continu, et presque « toujours il faut en chercher l'origine non dans les « montagnes voisines, mais dans les berges mêmes « corrodées par le courant.

« On suppose généralement que les bancs de gra- « vier qui obstruent les cours des rivières sont ame- « nés des régions supérieures qu'elles traversent, et « déposés successivement à mesure que l'équilibre « s'établit entre la vitesse du courant et le volume « des matériaux charriés. Ainsi, l'on explique l'exi- « stence des gros galets vers les sources, celle du « menu gravier dans les parties intermédiaires et « celle du sable dans les régions inférieures, par le « décroissement successif de la vitesse des eaux, à

[1] Année 1838, 1er semestre, p. 341.

« mesure qu'elles arrivent vers leur embouchure. « Cette explication, envisagée d'une manière géné- « rale, paraît d'autant plus spécieuse que le phéno- « mène d'un grand transport de la source vers l'em- « bouchure a dû nécessairement se produire à « l'époque de la formation des vallées, et que très- « probablement il se manifeste encore, dans des « proportions appréciables, sur quelques rivières « torrentielles dans le voisinage de leur source. Mais « pour celles dont la vitesse n'est pas excessive, et « notamment pour des fleuves tels que le Rhin, le « Rhône, la Seine, la Garonne, nous pensons que les « effets de ce genre ont une importance tout à fait « secondaire et qu'ils sont loin d'exercer sur les mo- « difications du régime l'influence qu'on leur attri- « bue. Si les bancs de gravier que nous voyons surgir « dans le lit des rivières provenaient des régions « supérieures, ils devraient se déposer de préférence « dans les biefs où la profondeur d'eau est considé- « rable et la vitesse faible, ce qui tendrait à faire « disparaître les rapides que l'on observe de distance « en distance sur la plupart des rivières et à en ré- « gulariser la pente. Or, cet effet ne se produit pas : « on trouve des bassins creusés dans le rocher dans « lesquels il ne s'arrête pas un caillou, tandis qu'en « amont et en aval, sur des points où la vitesse est « plus forte, on aperçoit une multitude de bancs de « gravier. »

Les observations que nous avons eu occasion de faire nous-même pendant quatorze ans sur deux rivières assez torrentielles, le Tarn et le Lot, nous ont

conduit aux mêmes conséquences. Qu'il nous soit permis d'entrer dans quelques détails à ce sujet.

Lorsqu'on observe avec attention les rivières à fond de gravier, on constate ce fait général que, dans celles de ces rivières dont les berges et les sinuosités peuvent être considérées comme fixes, tous les bancs qu'on y remarque les coupent en écharpe, et que ceux-ci, partant en amont d'une rive ordinairement convexe, vont rejoindre en aval la rive opposée, convexe elle-même. Entre les deux points d'attache, le banc présente une dépression à laquelle correspond le thalweg de la rivière. Un pareil banc n'est donc autre chose qu'un barrage oblique, et il en existe ainsi des séries qui établissent une division naturelle du cours d'eau en biefs successifs. Le liquide, à l'époque de l'étiage, est donc calme entre deux bancs ; mais, à la traversée de chacun d'eux, il y a un rapide qui atteint son maximum au point où existe la dépression ci-dessus signalée.

Cela posé, on sait que lorsque les eaux croissent dans une rivière, les diverses pentes brisées que présente telle ou telle autre partie de son cours en étiage tendent de plus en plus à s'effacer et à se transformer en une pente uniforme et moyenne entre les pentes primitives; par conséquent il en sera de même des vitesses. Il suit de là que c'est au moment même de l'étiage que l'eau coule sur les bancs de gravier avec la vitesse maximum, et que, sur ces points, cette vitesse diminue à mesure que la crue augmente. Nous n'ignorons pas que la vitesse dépend non-seulement de la pente, mais encore du rayon moyen, et qu'elle

est une fonction du produit de ces deux quantités; de sorte que, malgré une réduction notable de la pente, la vitesse pourrait se maintenir et augmenter même, si le rayon moyen grandissait plus rapidement que la pente ne diminue. Mais cette augmentation rapide du rayon moyen n'existe pas sur les bancs, c'est-à-dire sur les parties les moins profondes et les moins encaissées des rivières; la disposition allongée de ces bancs, leur relief peu accidenté, leur inclinaison dans le sens longitudinal, plus prononcée que partout ailleurs, fait que l'eau, lorsqu'elle grossit, s'y étale plus qu'elle ne monte. Dès lors, l'agrandissement très-notable du périmètre mouillé vient s'opposer à celui du rayon moyen, et la diminution de la pente conserve dans ce cas un effet prépondérant.

Si donc les matériaux, dont le périmètre mouillé d'un banc de gravier est composé, sont tels qu'ils ne se déplacent pas sous l'influence des courants d'étiage, à plus forte raison en sera-t-il ainsi dans les crues; le banc restera donc perpétuellement à la même place.

Cette observation fort simple nous paraît très-propre à démontrer que c'est une erreur de croire que les bancs sont emportés par les hautes eaux et reformés par les moyennes, puisque plus les eaux sont hautes, moins est considérable la force d'entraînement qui s'exerce sur les graviers qui constituent les bancs.

Ce qui pourrait plutôt arriver quelquefois, c'est que, pendant les crues, les bancs s'atterrissent un peu,

parce qu'alors les vitesses dans les biefs intermédiaires étant plus fortes qu'en étiage, les matières qui composent les berges au droit de ces biefs pourraient être entraînées par les courants et viendraient s'adosser aux bancs dont ils relèveraient les seuils; mais cet atterrissement doit toujours être de fort courte durée, parce qu'aussitôt que les rapides d'étiage se reproduisent, les matières qui le composent sont entraînées dans les profondeurs du bief d'aval. Peut-être sont-ce des mouvements de cette nature qui ont fait penser à quelques ingénieurs que les bancs subissent pendant les crues des modifications bien plus grandes qu'elles ne le sont en réalité, et qui ont donné naissance à cette opinion que les bancs sont détruits par les grandes eaux et reconstitués par les moyennes.

L'observation ci-dessus rend également compte de la disposition de tous les moulins et de leurs barrages anciennement établis sur les rivières à fond de gravier.

La grande obliquité, si souvent remarquée, de ces barrages sur l'axe du cours d'eau, n'est pas due, ainsi que ceux qui nous ont précédé l'ont cru à ce que cette forme augmentait la pression et la force de l'eau pour une hauteur donnée. Il faut seulement l'attribuer à ce que l'on prit, pour base de ces barrages, les bancs mêmes de graviers; et si l'on se détermina pour un tel choix, c'est que la fixité bien reconnue de ces bancs fut considérée, avec juste raison, comme la meilleure garantie de celle des barrages. Aussi, dans les travaux d'amélioration de rivière auxquels nous avons participé, avons-nous pu remonter pour

un assez grand nombre de moulins, d'assez chétive apparence d'ailleurs, à des existences de quatre à cinq cents ans, et rien ne dit même que l'époque de leur construction n'a pas été antérieure à cette date éloignée.

Or, comme indépendamment des considérations théoriques, toutes les observations faites sur les rivières prouvent que l'existence des bancs est liée à celle des grandes sinuosités des cours d'eau, et que, par conséquent, si les berges et les sinuosités sont fixes, comme nous le supposons, les bancs sont subordonnés les uns aux autres, il s'ensuit que, reconnaître que quelques-uns d'entre eux existaient sur les points où nous les voyons aujourd'hui, c'est reconnaître aussi qu'il devait en être de même pour tous. De sorte que les anciens moulins dont nous venons de parler se présentent à nous comme les témoins de ce qui existait dans les époques antérieures, et comme une preuve à peu près irrécusable de la concordance qui existe entre l'invariabilité des sections transversales des rivières et de leur profil longitudinal, et celle de l'emplacement de leur lit.

D'ailleurs, du maintien des bancs à la même place résulte nécessairement la conservation des biefs intermédiaires ; ce second fait est une conséquence indispensable du premier. Il existe donc dans les rivières dont nous nous occupons ici ces deux principes corrélatifs l'un de l'autre : les bancs ne sont pas plus diminués par des corrosions que les biefs ne sont remplis par des atterrissements. L'existence prolongée des anciens moulins prouve ce second fait aussi

bien que le premier; car ces moulins auraient cessé depuis longtemps de fonctionner, si leurs biefs supérieurs avaient eu de la tendance à s'atterrir.

Nous aurions encore beaucoup d'observations à présenter sur ce sujet, que nous ne faisons qu'effleurer. Mais ce n'est pas ici le lieu de s'expliquer plus au long sur une question qui, pour être traitée à fond, exigerait de fort longs développements; nous croyons en avoir assez dit pour faire admettre comme une vérité, qu'en ce qui concerne les graviers, les rivières à fond dit mobile n'ont pas moins de fixité peut-être que les autres, dans la forme de leurs sections et dans la distribution de leurs pentes, et que, par conséquent, les déplacements de gravier vers l'aval y sont à peu près nuls. Nous avons passé dix ans de notre carrière d'ingénieur à provoquer, par des moyens artificiels, soit la destruction de certains bancs de gravier, soit l'atterrissement d'anses et de bas-fonds, comme conséquence de cette destruction même; or, la parfaite concordance que nous avons fini par obtenir entre les résultats produits et les prévisions ne nous laisse aucun doute sur la permanence du régime de ces rivières, tant que des causes exceptionnelles ne viennent pas altérer la forme de leurs berges.

Que si cette dernière circonstance vient à se produire soit par des moyens artificiels, soit par l'action des crues sur les terres des rives, alors les bancs les plus voisins se déplacent, mais latéralement, plus encore que dans le sens longitudinal; leur importance diminue, si on leur a préparé le remplissage

de quelques anses ou de quelques biefs; elle augmente, au contraire, si cette ressource manque e tsi les berges détruites ont fourni un contingent de leurs anciens dépôts diluviens.

Ajoutons à ces diverses observations de détail quelques considérations d'un ordre général.

On ne saurait, ce nous semble, comprendre l'exhaussement prononcé d'un lit que dans le cas où les écoulements se font de telle sorte qu'à de grandes vitesses en succèdent de petites, et encore faut-il, pour que l'effet soit franchement accentué, que ce passage de la vitesse forte à la vitesse faible ait lieu brusquement et non par degrés insensibles. En effet, les écoulements rapides détachent incessamment, sur les flancs des montagnes, des terres, des sables, des fragments de rochers. Ces diverses matières tenues en suspension ou roulées par les eaux, sous l'influence de ces courants, s'y maintiendront tant que cette influence persistera; mais si un temps d'arrêt subit vient à se présenter dans l'écoulement, tout s'arrête alors: les blocs de rocher et de gravier d'abord, puis les sables, puis enfin les limons eux-mêmes, si la vitesse diminue suffisamment. Or, ces circonstances n'existent guère qu'au pied des derniers échelons formés par les hautes montagnes, où nos grands fleuves prennent leur source; on les trouve encore sur une plus petite échelle à la jonction de nos coteaux rapides avec les plaines des vallées qui leur servent de base. Elles sont rendues manifestes par les cônes de déjection formés, en grande partie, à l'époque des écoulements torrentiels d'origine pri-

mitive, et continués ensuite, mais sur de moindres proportions, par les forts orages de nos jours.

Mais lorsque les rivières ou leurs affluents ont franchi ces passages qui limitent la partie vraiment montagneuse de leur cours pour entrer dans les plaines basses, la décroissance très-rapide de leur pente, et par conséquent de leur vitesse, fait que tout ce qu'il y a de plus volumineux dans les matières entraînées s'est antérieurement déposé, et qu'à partir de ces points les rivières ne charrient plus que des sables et des limons. Or, quant à ceux-ci, puisqu'il est reconnu qu'ils descendent jusqu'à la mer, c'est-à-dire jusqu'à la partie d'un fleuve où les pentes et les vitesses sont réduites à leur plus petite expression, on ne trouve plus, en vérité, de motif sérieux pour admettre qu'ils puissent se déposer là, où pendant la durée de la crue il existe des vitesses supérieures, tandis qu'ils continuent de marcher sur les points où le courant est bien moins rapide. Que si, à la fin d'une crue, lorsque toutes les vitesses touchent au terme de leur amortissement, un semblable dépôt a lieu dans les bassins d'étiage les plus tranquilles, il sera inévitablement repris dès le commencement de la crue suivante; car il est très-essentiel d'observer que, pour se faire une idée nette des véritables effets produits par les eaux sur les lits des rivières, il ne faut jamais séparer une crue de celles qui l'ont précédée et de celles qui la suivront. Cela explique pourquoi une hausse des eaux est toujours accompagnée de troubles, même lorsqu'elle n'est pas produite par la pluie. C'est ce que nous avons maintes

fois observé sur le Lot, lorsque nous vidions le bassin de retenue d'un barrage, et que nous envoyions ainsi en étiage dans les parties inférieures de la rivière des volumes considérables de liquide, limpides au départ, mais de plus en plus chargés de troubles, à mesure qu'ils s'éloignaient de l'origine de l'écoulement.

Il ne faut pas perdre de vue que l'état actuel, non-seulement de nos vallées, mais de la surface de la terre considérée dans son ensemble, n'est pas uniquement le résultat des actions naturelles qui s'exercent aujourd'hui, qu'il l'est encore et surtout de celles qui ont bouleversé le globe dans les temps antérieurs, avec des intensités dont la réflexion et des études approfondies peuvent seules nous donner la mesure. De sorte qu'il ne faudrait pas conclure de ce qu'il y a aujourd'hui des cailloux roulés, très volumineux quelquefois, dans le lit de nos fleuves, que ce sont les crues actuelles qui les y poussent et les y déposent de proche en proche; leur présence doit remonter plutôt, et ce fait est pour nous une grande vérité, à l'époque des grandes catastrophes qui ont coïncidé avec la présence de l'homme sur la terre, et peut-être même à des temps antérieurs.

Si, en effet, l'on considère que pas un de nos grands cours d'eau n'envoie aujourd'hui de graviers à la mer, et que cependant les plages de celle-ci en possèdent de grandes quantités, dont la composition minéralogique, différente de celle des falaises du littoral, est au contraire identique à celles des massifs montagneux, où nos fleuves prennent leur source,

comment pourrait-on se refuser à admettre que la majeure partie de ces matières, que l'Océan roule dans son sein ou garde sur ses bords, y a été jadis conduite par les courants contemporains de la formation même de nos vallées?

Nous trouvons en France, dans la partie inférieure et maritime de la vallée du Rhône, une manifestation saisissante de la différence qu'il faut établir entre le régime des eaux aux époques qui nous ont précédés et le régime actuel de nos fleuves. Depuis Arles jusqu'à la mer, le lit du Rhône ne contient plus de cailloux roulés; on n'y trouve que du sable; il en est de même des terrains qui forment son delta et qui sont de formation récente. Mais, à droite et à gauche de ce delta, les parties basses des plaines et les collines elles-mêmes, quand celles-ci ne sont pas très-élevées, présentent de vastes dépôts de cailloux roulés, ayant fréquemment de très-fortes dimensions. Sur la rive gauche, c'est l'immense plan incliné qui forme le terrain de la Crau[1]; sur la rive droite, ce sont les surfaces plates et onduleuses que traverse la route d'Arles à Nîmes. Le fleuve, même à l'époque des plus fortes crues, ne transporte donc plus aujourd'hui que des sables et des vases, tandis que les anciens courants ont conduit jusqu'à la mer et laissé sur le sol, lorsque le grand cataclysme a touché à sa fin, une prodigieuse accumulation de débris de roches qu'ils avaient entraînés. Ainsi, au-

[1] *Annales des ponts et chaussées*, année 1855, 2me semestre, p. 5 et suivantes.

tant il y a de différence entre le volume d'un grain de sable et celui des cailloux roulés qui recouvrent les terrains de la partie inférieure de la vallée du Rhône, autant nous devons en admettre entre le régime actuel du fleuve et celui des eaux torrentielles qui, à ces lointaines époques, envahirent nos vallées, poussant jusqu'à la mer les roches fragmentées des escarpements supérieurs.

Nous nous résumerons donc en disant que les travaux indiqués par M. Rozet, en même temps qu'ils contribueront à arrêter le ravinement des montagnes, auront aussi pour effet d'emmagasiner une partie des eaux courantes, de retarder les écoulements, et de diminuer par conséquent dans les parties basses la portée des inondations. Mais ces travaux et leurs analogues ne doivent pas descendre plus bas que la zone véritablement montagneuse des fleuves: vouloir les étendre au delà serait travailler en pure perte, puisque dans les plaines les forces de transport n'existent plus. Les graviers y sont simplement soumis à des mouvements d'oscillation très-restreints, qui les déplacent de droite à gauche plutôt qu'il ne les font descendre de l'amont à l'aval; ils ne peuvent s'accumuler que par la destruction des berges, destruction généralement assez lente, qu'il est d'ailleurs facile d'arrêter par des moyens très-peu compliqués, et le plus souvent, comme nous l'ont démontré de nombreux succès, par de simples adoucissements de talus.

Du déboisement et du reboisement. — Incertitudes de leurs effets respectifs.

Parmi les diverses causes auxquelles le public attribue les inondations, il n'en est aucune dont il ait été fait plus souvent mention que celle du déboisement. C'est, dit-on, parce que le sol de la France se dénude de plus en plus, que le débordement des eaux devient chaque année plus formidable; il n'est pas un écrit, traitant la question des crues de nos rivières, qui ne signale en première ligne le déboisement; pas une conversation, sérieuse ou non, dans laquelle on n'exprime, au sujet des inondations, le regret de voir incessamment disparaître les forêts; pas un système qui ose se produire sans jeter l'anathème obligé contre cette tendance du siècle à abattre et toujours abattre les arbres. Le déboisement, en un mot, c'est le *delenda carthago* qui précède et qui suit tous les discours sur les grandes pluies et sur leurs effets; c'est une maxime proverbiale si bien acceptée, si généralement répandue, que certainement elle a acquis aujourd'hui le droit de figurer dans le recueil de celles qu'on a appelées la sagesse des nations.

Mais si tout le monde dit, si tout le monde prétend ou croit savoir que les inondations grandissent avec le déboisement, presque tout le monde aussi ignore pourquoi il en est ainsi; pourquoi, par conséquent, ce ne serait pas le contraire qui serait vrai. Que de dissertations auxquelles on peut couper court avec cette simple, mais embarrassante question: *Pourquoi?* Que d'écrits dont la réfutation tout entière

consiste dans ce seul mot : *Pourquoi?* Que de faiseurs de systèmes qui ne doutent pas de l'excellence de leurs projets, et qui cependant en ignorent le pourquoi !

Les affirmations abondent, leur ton est d'autant plus tranchant que les motifs à l'appui sont plus nuls ; on proclame la cause très-souvent et très-haut, mais on ne sait rien de ce qui concerne son mode d'action.

« La première cause, dit l'un, bien des fois signa- « lée déjà, de l'augmentation progressive et an- « nuelle des inondations, c'est le déboisement de « plus en plus rapide des forêts [1]. »

« La cause principale des inondations et des grêles, « dit l'autre, aujourd'hui si fréquentes, n'est-elle « pas le déboisement des montagnes et la disparition « des forêts? Les bois des hauteurs et des pentes ne « devraient-ils pas, comme autrefois, devenir l'objet « d'une espèce de culte religieux, de telle sorte qu'y « porter la main, ce fût un crime [2]? » Et ainsi des autres; beaucoup de phrases, beaucoup de déclamations, mais peu ou point de débats : on n'instruit pas le procès, on commence par le juger, sauf à trouver plus tard, ou à ne pas trouver les motifs propres à justifier l'arrêt.

Une telle situation est peu faite pour diriger l'homme qui veut sérieusement et de bonne foi étudier la question. Comment s'éclairer? Vers quel but faudra-

[1] *Nouvelles Annales de la construction*, numéro de juillet 1856.

[2] Journal *le Cosmos*, numéro du 11 juillet 1856.

t-il diriger les efforts de son intelligence? Où est le vrai, où se trouve le faux? Comment le savoir, quand tout se borne à l'énoncé de la question, et qu'on ne va pas au delà?

Si donc nous n'avions pas été plus désireux que la plupart de ceux qui en parlent de savoir ce qu'il y a au fond de cette grande question du déboisement, nous aurions pu arrêter ici notre tâche et nous borner à répondre, par l'expression d'un doute, à celle d'une assertion aussi générale qu'elle est peu justifiée.

Mais nous n'avons pas su nous résigner à adopter ce parti, quelle que fût sa commodité; et, en supposant qu'il ne nous fût pas permis de nous édifier sur le véritable rôle qu'il faut assigner au déboisement en matière d'inondation, nous pouvions tout au moins, en acceptant comme vraie sa fâcheuse influence pour grossir les crues de nos rivières, examiner jusqu'à quel point le remède indiqué, le reboisement si instamment sollicité, était facilement praticable.

Grandes difficultés de la mise en pratique du reboisement.

Or, un premier obstacle, et le plus grave de tous peut-être, est indiqué par les partisans eux-mêmes du reboisement.

« Malheureusement, lisons-nous dans les *Nou-*
« *velles Annales de la construction*, tous les proprié-
« taires de biens fonds ont un intérêt direct à rem-
« placer les bois qu'ils possèdent par des champs
« plus productifs et par des terrains bâtis. »

Pour qui connaît les hommes, leurs passions et les

intérêts qui les poussent, il n'y a pas de motif plus puissant que celui que nous venons de transcrire pour faire croire que le reboisement ne se fera pas. Eh quoi, vous reconnaissez que les propriétaires ont un intérêt direct à remplacer leurs bois par des champs plus productifs, et vous vous étonneriez qu'ils n'aient pas abattu ces bois, et que sur leur sol dénudé ils n'aient pas fait passer la charrue! Vous constatez l'intérêt très-direct qu'ils ont eu à opérer cette transformation, et vous avez la démence, c'est en vérité le mot propre, d'espérer que du nouvel état de choses, ils consentiront à revenir à l'ancien! que, pour vous complaire, ils s'empresseront de changer en mal le bien qu'ils se sont fait! qu'ils renonceront à l'augmentation de revenus qu'ils se sont créée, et qu'ils adopteront un mode de culture qui, pendant vingt ans au moins, leur imposera des charges annuelles, sans aucun profit!

Il faudrait, je le répète, n'avoir pas la plus légère connaissance des hommes et des mobiles qui les font agir, pour conserver de si singulières illusions. Qu'on ne perde pas de vue, à ce sujet, que sur un terrain déboisé, on récolte du blé au bout de douze mois, tandis que c'est à peine si, vingt années après la plantation, on commence à avoir du bois. Or, vingt années dans la vie des hommes, c'est beaucoup trop pour que l'intérêt qu'on peut attacher à une entreprise soit très-vivace; vingt années sont à peine la vie probable à quarante-cinq ans, c'est-à-dire à l'âge où les ressources d'intelligence, de liberté d'action, de fortune, sont sur le point d'arriver à leur apogée, à

l'âge où l'ambition de l'homme est le plus développée, le plus désireuse de jouir vite. Il y aura toujours dans ce fait une cause très-puissante d'hésitations.

N'espérez donc pas que partout où un mode de culture plus productif que celui des forêts a pris la place de ces dernières, il puisse être un jour remplacé par des plantations; les propriétaires ne le voudront pas, et les ressources du Trésor public ne seraient pas suffisantes pour opérer une telle transformation.

Il faudrait donc, au point de vue du reboisement, se rejeter sur les terres dites incultes et à pentes rapides, et il se pourrait qu'il y eût, en effet, avantage dans certains cas à les utiliser pour des bois, mais plutôt dans le but de limiter les ravinements que dans celui de mettre obstacle aux inondations. Quelques tentatives ont été faites à cet égard, surtout dans la Champagne, et il en est qui ont réussi : toutefois, le nombre de ces succès est encore peu considérable, et en principe la question n'est pas encore résolue. Cette incertitude ne doit pas nous surprendre, car il n'y a rien d'absolu en cette matière. En effet, qui dit terres incultes ne dit pas pour cela terres complétement improductives; celles qui sont réputées les plus mauvaises conservent encore une certaine valeur dans le commerce. Il faudrait donc, avant tout, savoir pour quel prix de l'hectare il est avantageux de changer les terres en bois, pour quel prix il convient de s'abstenir; il faudrait nous faire connaître s'il n'y a pas des natures de sol tout à fait impropres à la sylviculture; il faudrait nous dire

comment devront être réparties les essences parmi les terres qui sont susceptibles d'être reboisées, soit au point de vue de leurs pentes, soit à celui de leur exposition, soit enfin à celui de leur aptitude végétale. Or, toutes ces questions sont de la plus haute importance, non-seulement pour le propriétaire qui se déterminerait à reboiser, non-seulement pour la société en général, qui a intérêt à ce que toute dépense, tout travail soient réellement productifs, mais encore pour la question spéciale qui nous occupe; car si le reboisement doit être utile contre les inondations, c'est à la condition essentielle que les tentatives qui seront faites pour reboiser nous donneront des tiges, des branches et des feuilles.

Nous dirons donc à ces partisans trop peu réfléchis du reboisement : Au lieu de vous borner à de vagues aspirations, à des demandes non justifiées, et trop souvent à d'injustes récriminations contre l'action gouvernementale, entrez dans le cœur du débat, étudiez et instruisez-nous; ne vous bornez pas à dire aux hommes ce que vous pensez qu'ils devraient faire ; expliquez-leur plutôt dans quelles circonstances et par quels moyens ils seront sûrs de mettre utilement en pratique, pour eux-mêmes et pour la société, les projets que vous venez leur offrir.

D'ailleurs, est-il bien certain qu'en limitant, comme nous venons de le dire, l'opération du reboisement, on aurait appliqué au mal un remède suffisamment efficace? Il y a tout lieu d'en douter. Ecoutons, à ce

sujet, les observations très-fondées de M. l'inspecteur Dupuit[1].

« Il est vrai que quelques-uns se restreignent et « ne parlent du reboisement que sur la source des « fleuves; ils prétendent qu'il suffit d'y arrêter le mal « pour le voir disparaître partout. On perd de vue « que l'eau des fleuves et des rivières ne se compose « pas uniquement de ce qui vient de leurs sources, « mais de l'eau qui tombe dans toute l'étendue du « bassin; que ce qui vient de la source même est « presque partout un infiniment petit dans la masse « débordée; que, par conséquent, pour que le re- « boisement ait un effet sensible et salutaire sur le « régime de nos fleuves, il faut qu'il puisse couvrir « une vaste étendue du bassin. Toute mesure partielle « à ce sujet peut même amener des résultats tout à « fait contraires. Par exemple, il arrive souvent au- « jourd'hui que la Loire entre en crue lorsque la « Vienne commence à baisser. Admettons que par « des plantations dans le bassin supérieur de la « Vienne on ait retardé la crue de cette rivière de « quelques jours, le résultat de ce travail sera de « faire coïncider la crue de la Loire avec celle de la « Vienne, et d'occasionner, au-dessous de leur con- « fluent, une inondation qui n'aurait pas eu lieu « sans ce travail. Pour que le reboisement soit effi- « cace, il faut donc qu'il soit à peu près général. »

On retrouve ici, pour ce qui concerne les actions

[1] *Études théoriques et pratiques sur le mouvement des eaux courantes*, p. 199.

retardatrices qui peuvent être la conséquence des plantations, des observations tout à fait analogues à celles que nous avons présentées sur le même sujet à propos des situations respectives des divers affluents d'un fleuve. C'est qu'en effet il est impossible que cet ordre d'idées ne se présente pas à l'esprit toutes les fois qu'on veut apprécier sainement les effets des mesures à prendre contre les inondations; matière importante, trop peu étudiée jusqu'à ce jour, et qu'il faut sans cesse avoir présente à la pensée, sous peine d'accepter des solutions qui aggraveraient le mal au lieu de le diminuer. Mais revenons à notre sujet.

A la place de ces désirables et utiles enseignements que nous réclamions tout à l'heure, on ne sait que parler de menaces et de contrainte : « Porter la main « à un arbre, ce sera un crime; si les propriétaires « ne veulent pas reboiser, il faudra les y obliger de « la manière la plus énergique. »

Ainsi, dans la pensée des propagateurs du reboisement, le principe de l'expropriation pour cause d'utilité publique n'est pas suffisant; il faut aller plus loin et imposer aux propriétaires le mode de jouissance suivant lequel ils devront user de ce qu'ils possèdent. A quoi bon, en effet, exproprier? A quoi bon faire des travaux? N'est-il pas plus commode, plus avantageux, de laisser à chaque propriétaire son terrain, et de le contraindre d'y faire, à ses frais, les dépenses qu'on croit utiles, quelque tort qui doive en résulter pour lui-même? A la vérité, pour adoucir ce que de pareilles mesures pourraient avoir de trop rigoureux, on fait sonner bien haut l'allocation de

quelques primes. Mais si ce moyen est, pour l'homme, une véritable excitation à pratiquer et à généraliser ce qui lui est utile, il échouerait complétement dans le cas actuel, parce que chacun comprendra sans peine qu'au lieu de venir en aide au développement des fortunes privées, il ne serait autre chose qu'un encouragement au sacrifice des intérêts personnels.

Si c'est à ce prix qu'on espère réaliser le système sur lequel on fonde tant d'espérances, et qu'on prend si peu la peine de justifier, nous ne pouvons que répéter avec une plus grande force de conviction ce que nous avons dit plus haut : le reboisement ne se fera pas.

Le reboisement, une fois fait, serait-il maintenu dans les temps futurs?

Mais admettons un instant que ces insurmontables difficultés soient vaincues; que, par un miraculeux hasard, le concours de toutes les volontés ait été obtenu, qu'on se soit mis à l'œuvre, qu'on ait planté; que de nouvelles et vastes forêts s'élèvent, soit sur nos terres arides, soit sur nos champs cultivés : on sera donc parvenu au but tant désiré; on aura changé, sur de grandes étendues, l'aspect de notre sol et sa manière de produire. Mais aura-t-on changé pour cela les hommes? Aura-t-on fait disparaître leurs instincts, leurs sentiments, leurs passions d'aujourd'hui? Ce serait là un second problème plus difficile encore à résoudre que le premier. Or, qui pourrait être en état d'affirmer que quelques années après que ce gigantesque travail aura été mené

à bonne fin, l'avidité des uns, de dures nécessités pour les autres, des circonstances sociales impérieuses, les besoins de nouvelles industries, le développement irrésistible des travaux d'utilité publique, une disette, sinon absolue, du moins momentanée de charbon de terre, et les prix excessifs que pourrait prendre subitement cette marchandise de première nécessité, ne feront pas une seconde fois reporter la hache dévastatrice sur les forêts récemment reconstituées, et sur leurs aînées; et si l'on ne perdrait pas ainsi tous les bienfaits de ce système de protection, avant même d'en avoir joui? Quel serait l'esprit assez peu réfléchi pour affirmer que de telles appréhensions ne sont que des chimères?

S'il ne nous est pas permis d'écrire dans toute sa sincérité l'histoire de la disparition de nos forêts, on peut toutefois, ce nous semble, en assigner, avec beaucoup de vraisemblance, les causes très-probables.

Lorsqu'après les ténèbres du moyen âge l'industrie commença à s'introduire en France, les besoins de combustible grandirent avec elle; or, à cette époque, l'usage de la houille était inconnu. Les premiers envois de ce combustible, à Paris, datent de 1520. Le commencement d'exploitation des mines françaises peut être porté à l'année 1545. Mais, même en 1787, on n'extrayait chez nous que 215,000 tonnes. Ce nombre est vingt fois plus considérable aujourd'hui.

Ce furent donc les forêts qui durent seules subvenir à l'augmentation qui se fit sentir dans la consommation du combustible. Or, demanderons-nous à

ceux qui se plaignent aujourd'hui du déboisement, si vous aviez été appelés à cette époque à prononcer sur la question de savoir s'il valait mieux respecter les forêts et éloigner l'industrie, ou accueillir celle-ci en lui donnant le bois qui lui était nécessaire, il est très-probable que, jaloux de la prospérité de la France, et ne voulant pas qu'elle restât en arrière des autres nations, vous auriez agi comme l'ont fait nos devanciers; que non-seulement vous auriez donné à l'industrie ce qu'elle demandait, mais que vous auriez en outre cherché à l'encourager. C'est qu'en réalité les arbres ne poussent pas seulement pour orner la terre et pour jouer dans les phénomènes météorologiques un rôle, incontestable sans doute, mais que vous ne savez pas définir, et qui pourrait bien n'être pas tout à fait celui que vous pensez. Ils ont d'autres fonctions à remplir, celle principalement, comme toutes les autres plantes, de subvenir aux besoins des hommes, de sorte que, ne pas les abattre dans une certaine proportion, c'est refuser à ces besoins une légitime satisfaction. Or, vous ne savez pas si ce refus n'engendrerait pas pour le corps social des calamités plus grandes encore que celles qui sont produites par les inondations.

D'un autre côté, l'augmentation de la population, favorisée sans doute par le développement même de l'industrie, exigeait une production croissante des céréales. De temps à autre, d'affligeantes disettes, auxquelles le commerce ne pouvait pas alors apporter le soulagement de son trafic, venaient donner au pays de terribles avertissements. Les guerres inté-

rieures, si fréquentes jusqu'à la majorité de Louis XIV, désolaient les campagnes et détruisaient souvent les récoltes ; il devenait donc nécessaire, indispensable, d'agrandir les espaces cultivés, et cette seconde cause se joignait à la précédente pour pousser au déboisement et augmenter l'étendue des champs destinés à l'alimentation du pays. Permis à quelques-uns de considérer ce résultat comme un malheur, mais ce malheur qui, je le répète, n'est pas prouvé, était, avant tout, une nécessité ; avoir trop d'eau dans nos fleuves, à certaines époques, est sans doute un grand mal, mais manquer de blé est la plus terrible des calamités, et il faut l'éviter à tout prix.

L'alimentation publique, cette loi suprême des nations, doit intervenir avant tout dans la question du reboisement.

Quant à nous, nous nous inquiéterons toujours moins de supputer les forêts qui ont disparu que de savoir si on a assez déboisé pour que la subsistance du pays soit assurée. Ce côté de la question est celui qui intéresse le plus l'humanité ; il doit dominer le débat, dans lequel on n'a pas seulement songé à le faire intervenir ; aussi, contrairement à l'opinion généralement accréditée, nous trouverons très-raisonnable, très-utile, très-nécessaire, qu'une nation qui n'a pas assez de terres à blé et à fourrages transforme ses forêts en champs et en prairies.

Quelle est à cet égard notre situation en France ? Avons-nous trop de terres arables ? pouvons-nous nous passer des envois de bestiaux que nous fait l'étranger ? L'histoire des trois dernières années est

là pour répondre à ces questions. Les prix élevés du pain et de la viande témoignent suffisamment de notre insuffisance, et nous pouvons dire, avec plus de vérité que nos antagonistes, que le crime ne serait pas à abattre un arbre, mais à faire d'un seul de nos champs de blé une forêt. « Selon nous, dit avec juste « raison M. Dupuit, il faut accepter le régime de nos « cours d'eau tel que la nature l'a donné ou que la « civilisation l'a modifié. La surface du sol soumise « aux inondations n'est peut-être que la centième « partie de la surface entière de la France. Pour « diminuer les inconvénients des inondations sur « cette partie, il n'est pas rationnel de bouleverser « les quatre-vingt-dix-neuf autres. C'est sur la partie « malade qu'il faut agir directement, d'autant plus « que, si l'on veut l'examiner de près, on y trouvera « presque toujours la cause du mal. » Qu'on se borne donc à demander le reboisement des sommets et des pentes incultes, nous le voulons bien, mais moins encore au point de vue de diminuer la masse et le débordement des eaux qu'à celui d'empêcher le ravinement des terres; surtout qu'on s'applique à étudier le reboisement en lui-même, qu'on nous fasse connaître, d'abord, dans quelles circonstances il sera réalisable; en second lieu, à quelles conditions il sera utile à la fois aux intérêts privés et à l'intérêt général.

Si c'est ainsi que l'ont entendu les propagateurs de ce système, nous n'hésiterons pas à nous joindre à eux; mais si leurs exigences sont plus étendues, s'ils veulent qu'on rétablisse sur les bases anciennes un état de choses qui a été utilement modifié, s'ils

veulent que nous préférions les forêts druidiques à nos fermes modernes, les arbres aux épis, le gland au blé, nous leur dirons pour la troisième fois : Le reboisement ne se fera pas.

Ainsi, ce système devrait-il être considéré comme bon en lui-même, aurait-on clairement démontré qu'il doit exercer contre les inondations une heureuse influence, que tout concourt à prouver que non-seulement il serait matériellement irréalisable, mais qu'encore, à d'autres égards, il pourrait devenir la source de nouvelles calamités plus grandes encore que celles qu'on veut éviter.

Que faut-il penser de l'influence des forêts sur le phénomène de la pluie? — Détails préliminaires sur cette question.

Mais ne serait-il pas possible, malgré le silence à peu près général qu'on garde à cet égard, de savoir ce que l'on doit penser de cette mystérieuse action exercée par les forêts sur le phénomène de la pluie?

Dès les premières pages de cet écrit, nous avons essayé de faire comprendre la grande difficulté du problème qui consiste à faire subir, soit par des procédés agricoles, soit par tout autre moyen, des augmentations ou des diminutions annuelles, ou même de simples changements de distribution par saison dans les volumes de la pluie; cela tient à ce que, dans ce phénomène, les terres, les mers et l'atmosphère sont simultanément en jeu, et que, s'il est rationnel d'admettre en principe qu'une modification aussi profonde que celle qui consiste à couvrir d'arbres et de verdure de grands espaces précédemment

dénudés doit en produire une autre dans les faits météorologiques d'une contrée, il n'est pas aussi facile de décider dans quel sens cette modification aura lieu.

A cet égard, on peut se poser les trois questions suivantes :

1° Les forêts augmentent-elles ou diminuent-elles le volume annuel de la pluie?

2° Les forêts rendent-elles plus régulière ou plus irrégulière la distribution de la pluie par saison et ses écoulements à la surface du sol?

3° Les forêts contribuent-elles à augmenter ou à diminuer l'intensité des inondations?

M. l'ingénieur en chef Dausse paraît être le seul qui, jusqu'à ces dernières années, se soit proposé d'élucider ces questions. On trouve un mémoire de lui dans les *Annales des ponts et chaussées*[1], qui porte pour titre : ***De la pluie et de l'influence des forêts sur les cours d'eau***. Dans cet écrit, l'auteur émet d'abord l'opinion que la différence entre le volume annuel de la pluie et celui qui est écoulé par les cours d'eau doit être exclusivement attribuée à l'évaporation; il ne tient absolument aucun compte de l'absorption à travers les terres, qui joue cependant un rôle si important dans cette catégorie de phénomènes naturels. Nous avons longuement refuté cette opinion dans le chapitre deuxième de cet écrit, et nous ne reviendrons pas sur le fond de la discussion; mais il est nécessaire de rappeler ici cette manière de voir de l'auteur, parce que l'erreur dans laquelle il

[1] Année 1842, premier semestre, p. 184.

nous paraît être tombé à cet égard a nécessairement exercé une grande influence sur ses conclusions, qui, par ce premier motif, peuvent être considérées à bon droit comme douteuses.

Depuis que le travail de M. Dausse a été publié, M. l'ingénieur en chef Belgrand a fait paraître dans les *Annales* une série d'articles fort remarquables sur l'hydrologie du bassin de la Seine, et, dans le dernier notamment[1], il s'occupe à son tour spécialement de l'influence des forêts. Ses conclusions, comme nous le ferons voir, sont contraires à celles de M. Dausse, et les faits qu'il cite, joints à ceux que nous avons à produire nous-même, nous conduiront à partager sa manière de voir.

M. Dausse accepte sans hésiter l'opinion que les forêts augmentent la quantité annuelle de pluie, qu'elles régularisent sa distribution par saisons, qu'elles diminuent l'intensité des crues. Il est très-probable que, d'une part, la spécialité des études de M. Dausse sur l'hydraulique naturelle, études à peu près inconnues jusqu'à lui, que, d'autre part, ses précédents succès académiques, ont exercé une très-grande influence sur l'opinion du public, et que son travail a puissamment contribué à accréditer cette croyance générale dans laquelle on est aujourd'hui sur la grande nécessité du reboisement.

Ainsi que nous l'avons dit, on s'est assez peu préoccupé dans les masses des motifs sur lesquels s'est appuyé l'auteur pour conclure. Les considérations qu'il a fait valoir à cet égard n'ont pas été discutées,

[1] Année 1854, 1er semestre, p. 1.

le plus grand nombre ne s'est pas préoccupé de les connaître; on l'a cru sur parole, et l'on est allé répétant sans cesse et partout qu'il fallait reboiser, sans savoir généralement pourquoi.

Dans un écrit comme celui-ci, c'est précisément une tout autre marche que nous devons suivre; à l'inverse de ce qu'a fait le public, ce n'est que médiocrement que nous nous préoccuperons de conclusions toutes faites; nous porterons surtout notre attention sur les raisonnements de l'auteur, nous examinerons avec soin s'ils sont conformes aux principes de la théorie, s'ils sont corroborés par les faits observés.

C'est de cet examen que nous allons maintenant nous occuper.

Les forêts contribuent à diminuer la quantité de pluie annuelle.

M. Dausse commence par établir que, s'il est vrai qu'en un lieu quelconque la pluie s'accroît dans le trajet des couches inférieures de l'atmosphère, néanmoins, toutes choses égales d'ailleurs, son produit, en un temps donné, est d'autant plus considérable que les lieux qu'on considère sont plus élevés au-dessus du niveau des mers. Les observations udométriques confirment cette première proposition, et si l'on se reporte aux détails que nous avons exposés sur la production de la pluie, au commencement de la deuxième section de notre cinquième chapitre, on se convaincra que le fait annoncé par M. Dausse est entièrement conforme aux principes théoriques.

Nous sommes donc tout à fait d'accord sur ce point avec lui.

« Or, dit l'auteur, s'il est constant que la surface « de la terre ne puisse s'élever à la même tempéra- « ture sous l'irradiation solaire, lorsqu'elle est cou- « verte de forêts ou lorsqu'elle est dénudée et aride; « que l'ombre et la fraîcheur des forêts conservent la « pluie tombée aussi efficacement qu'un sol nu et « brûlant en hâte, au contraire, l'évaporation; que « les forêts calment les vents et les empêchent de « raser la terre et de la dessécher, il ne peut être « douteux que le reboisement n'accroisse la pluie « locale et n'en procure la conservation; par cela « même qu'en été, celle de toutes les saisons où il « tombe le plus d'eau dans le bassin de la Seine, un « sol couvert de forêts s'échauffe moins qu'un sol « nu, le premier est nécessairement au second « comme s'il était plus élevé d'une certaine quantité, « et, parce que l'air ambiant est plus humide sur « l'un que sur l'autre, c'est exactement comme si « cette dénivellation était encore accrue d'une autre « quantité. En d'autres termes, renouveler une forêt, « cela équivaut nécessairement, quant à l'action ré- « frigérante du lieu sur les vents pluvieux, à un cer- « tain soulèvement de toute pièce de ce lieu dans son « état primitif. »

En conséquence, et s'appuyant sur ce fait primitivement établi que la pluie augmente avec l'altitude des localités, M. Dausse établit dans ses conclusions: « qu'on doit reconnaître que les forêts, en atténuant « en été l'action du soleil sur le sol, en empêchent

« l'évaporation, et, en entretenant l'humidité de l'air « ambiant, accroissent nécessairement la quantité « de pluie locale. C'est, répète-t-il, comme ferait un « certain soulèvement de toute pièce du sol qu'elles « couvrent. »

Examinons maintenant ce qu'il y a de fondé dans cette explication.

Nous ferons remarquer d'abord qu'il y a une sorte de contradiction, dans la forme du moins, si elle n'existe pas au fond, à dire, d'une part, que les forêts empêchent l'évaporation, et, de l'autre, qu'elles entretiennent l'humidité dans l'air ambiant; car le second phénomène, au contraire, nous paraît être la conséquence directe du premier. Une explication est donc ici nécessaire. Nous pensons que M. Dausse a voulu dire d'abord que, sur le sol d'une forêt, l'acte de l'évaporation a moins d'énergie que sur une terre nue, puisque l'irradiation solaire y est moins forte; en second lieu, que, soit à cause de la plus grande difficulté qu'éprouvent les courants latéraux à pénétrer dans la forêt, soit à cause du dôme de feuillages qui arrête les courants ascendants, la quantité de vapeur d'eau qui peut se former reste concentrée dans le massif même, ce qui rend l'air ambiant plus humide. Quoi qu'il en soit de la justesse de cette explication, attachons-nous au point principal, à celui qui ressort évidemment de l'ensemble du mémoire, c'est-à-dire à une diminution notable de l'évaporation, et partageons encore, à cet égard, la manière de voir de M. Dausse.

Cela posé, tout le monde tombera d'accord que,

lorsqu'il pleut, c'est qu'il y a eu précédemment de l'eau évaporée ; que l'évaporation est, par conséquent, le préliminaire indispensable de la pluie ; que celle-ci devra être d'autant plus abondante, que les quantités de vapeurs formées auront été plus considérables, soit qu'elles sortent de la mer, soit qu'elles s'échappent de la surface de la terre; que, lorsque les vents chauds et humides viendront rencontrer des couches plus froides qu'eux, ils laisseront échapper, sous forme de pluie, d'autant plus ou d'autant moins de leur humidité propre, que les couches avec lesquelles ils se confondront en contenaient elles-mêmes, avant ce mélange, une plus grande ou une plus petite quantité.

Or, si les forêts conservent l'eau sur le sol, si elles s'opposent à son évaporation plus que les autres terres, n'en résulte-t-il pas que les couches aériennes qui s'élèvent au-dessus d'elles seront les plus sèches d'entre toutes? que tel vent qui produira une petite pluie au contact des autres déjà saturées ne fera que donner sa vapeur en nature aux premières? que, dans ce cas, il n'y aura que diffusion de l'eau à l'état aériforme et non précipitation à l'état de pluie? N'en résulte-t-il pas aussi que, contrairement aux conclusions de M. Dausse, ce n'est pas sur les forêts qu'il pleuvra le plus, c'est sur elles, au contraire, qu'il pleuvra le moins?

D'où vient l'erreur dans laquelle est ici tombé l'auteur? Il est facile, je crois, de s'en rendre compte. Si la pluie se formait dans les zones aériennes inférieures, dans celles qui sont en contact immédiat

avec la forêt, il est évident que, suivant les idées de l'auteur, ces couches, étant à la fois plus froides et plus humides que celles qui reposent sur les champs dénudés, provoqueraient incontestablement une plus grande et plus fréquente précipitation de vapeurs que leurs voisines par leur mélange avec les vents pluvieux. Observons, d'ailleurs, que la très-faible hauteur de la zone d'air qui s'étend depuis le sol jusqu'à la cime des arbres ne pourrait jamais donner lieu qu'à des chutes d'eau insignifiantes. Mais si, au contraire, la pluie se forme généralement, et surtout en été, dans des couches notablement élevées au-dessus du sol, les choses se passeront, non comme le veut M. Dausse, mais comme nous l'avons expliqué, non-seulement parce que l'air au-dessus des forêts est plus sec, mais encore parce qu'il est plus chaud; car il faut bien que l'extérieur contienne en plus, par un effet de rayonnement, toute la puissance calorifique que le feuillage ne laisse pas arriver jusqu'au sol, comme il faut qu'il contienne en moins toute l'eau qui, restant sur le sol à l'état liquide, est empêchée par la même cause de rentrer dans l'atmosphère à l'état de vapeur.

Il est sans doute peu nécessaire d'insister sur ce point, que la pluie se forme en général dans les couches supérieures de l'air plutôt que dans les couches basses. Chacun de nous, à cet égard, peut consulter sa propre expérience et se convaincre de cette vérité. D'ailleurs, la théorie indique que plus la chaleur sera considérable, plus les vents chauds et humides devront être élevés pour rencontrer les cou-

ches froides qui détermineront la précipitation de leurs vapeurs.

M. Dausse lui-même nous donne, dans son mémoire, la preuve et nous pouvons dire la mesure de ce fait. Il constate, d'après une moyenne de vingt ans, que la quantité de pluie recueillie à l'Observatoire de Paris pendant le mois de janvier est, savoir :

Dans la cour.	0m,0379
Sur la terrasse.	0 ,0318
D'où résulte une différence de.	0 ,0061

tandis que pour le mois d'août, on a :

Dans la cour.	0m,0475
Sur la terrasse.	0 ,0439
Et par conséquent une différence de. .	0 ,0036

« On voit, dit-il, 1° que le produit de la pluie « dans ces deux mois est dans le rapport de 4 à 5; « 2° que la différence de ses produits pour la cour et « la terrasse est presque double en janvier de ce « qu'elle est en août ; ce qui indique que la pluie à « Paris *se forme à une plus grande hauteur en été* « *qu'en hiver.* »

Quant à ce qui concerne cette dernière saison, il est possible que quelquefois la pluie se forme dans les couches les plus inférieures de l'atmosphère; mais c'est toujours une exception. D'ailleurs, en hiver, les forêts sont privées de leurs feuilles et rentrent alors en grande partie dans la loi commune.

Nous sommes donc conduit, en ce qui concerne

cette première question sur les modifications éprouvées par le volume annuel de la pluie, à une conclusion tout à fait opposée à celle de M. Dausse. Sortons maintenant du domaine de la théorie, entrons dans celui des faits, et voyons s'ils ne confirmeront pas à leur tour notre manière de voir.

Si, au lieu d'accepter aveuglément, comme on l'a fait jusqu'à ce jour, d'anciennes croyances, on avait conservé quelques doutes, on se serait appliqué à faire les observations nécessaires pour les éclaircir, et il est probable qu'aujourd'hui la question serait irrévocablement décidée; il ne nous est donc pas possible d'apporter ici un ensemble nombreux et imposant de témoignages; toutefois, ceux dont nous allons rendre compte sont très-concordants, ils se prêtent un mutuel appui, et nous pensons qu'ils seront suffisants pour faire voir de quel côté doit pencher la balance.

M. Belgrand nous apprend [1] qu'il pleut beaucoup plus à Vezelay (Yonne) qu'à Avallon ; ainsi, en 1852, il est tombé $0^m,881$ de pluie dans la première de ces localités, et $0^m,581$ seulement dans la seconde. Cependant la distance qui sépare ces deux villes est peu considérable; elle ne dépasse guère trois lieues à vol d'oiseau. En outre, les altitudes sont très-sensiblement les mêmes; il y a donc parité géographique et topographique dans les deux cas ; la seule chose qui soit très-différente, c'est l'état général des cultures.

[1] *Annales des ponts et chaussées*, année 1854, 1er semestre, page 22.

M. Belgrand nous dit en effet que, dans les environs de Vezelay, les versants sont beaucoup moins boisés que ceux d'Avallon ; et, comme cette différence est la seule qui existe dans ces contrées, n'est-on pas conduit à conclure qu'il pleut moins sur les forêts que sur les terrains dénudés ?

Nous trouvons dans l'ouvrage *Patria*, colonne 238, la constatation du fait suivant, au sujet du climat de Paris :

« Annuellement, il est tombé en moyenne une « quantité de pluie égale à $0^m,086$ de plus entre « 1806 et 1841 qu'entre 1709 et 1748. »

La première moitié du siècle précédent a donc été plus sèche que la première moitié du nôtre ; cependant il existait, il y a cent ans, plus de bois qu'aujourd'hui. Nous laissons au lecteur le soin de décider en faveur de quel ordre d'idées il faut interpréter ce fait.

Les observations udométriques que M. Flaugergues a faites à Viviers viennent corroborer les précédentes inductions. En voici le résumé :

Époques.	Hauteurs de la pluie.	Nombre de jours pluvieux.
1778 à 1787	$0^m,842$	83
1788 à 1797	0 ,899	94
1798 à 1807	0 ,926	106
1808 à 1817	1, 012	108

Ainsi, ce n'est pas seulement l'intensité de la pluie, c'est aussi sa fréquence qui a été sans cesse en augmentant.

« De telles variations, dit M. Arago, ne sont guère

« favorables à l'opinion que les pays boisés sont « ceux dans lesquels il pleut davantage, attendu que, « depuis le commencement des observations et no- « tamment dans les dix dernières années, *on n'a « cessé de détruire les forêts*, tant dans le territoire « de Viviers que dans tout le département de l'Ar- « dèche, où il ne reste plus aujourd'hui aucun bois « considérable. »

Enfin, on peut dire qu'en général toutes les observations tendent à confirmer le fait d'une plus grande quantité dans le volume annuel de la pluie, bien que les déboisements n'aient pas discontinué.

« En effet, dit M. Becquerel, dans son *Traité de « physique terrestre et de météorologie*, depuis 1689 « que l'on observe la quantité de pluie tombée à « Paris, on a plutôt trouvé une légère augmentation « qu'une diminution. Césaris a reconnu le même « accroissement pour la ville de Milan, depuis 1763 « jusqu'à cette époque. Il en est de même à la Ro- « chelle et dans le bassin du Rhône. »

Nous n'ignorons pas qu'il existe certains faits qui semblent au premier abord favorables à M. Dausse; que, par exemple, on a observé en Amérique que certains lacs, situés dans le voisinage de vastes forêts, avaient considérablement baissé depuis la destruction de ces forêts; d'où il semblerait résulter qu'il pleut moins sur les terrains nus que sur ceux qui sont couverts. Mais, lorsqu'on ne veut pas se borner à un examen superficiel de ces faits, lorsqu'on étudie avec soin les causes qui peuvent les produire, lorsqu'on cherche à en faire une analyse

complète, et surtout lorsqu'on procède à leur mesure, cette pierre de touche infaillible de la vérité, on est obligé de se rallier à une opinion contraire. Citons à ce sujet l'observation suivante, qui contient à la fois l'énoncé de la question et la véritable méthode à suivre pour résoudre toutes celles de cet ordre. Nous l'extrayons de l'ouvrage déjà cité de M. Becquerel, page 199 :

« En 1826, les montagnes métallifères de Marmato « ne présentaient que quelques misérables cabanes, « habitées par des nègres esclaves. En 1830, cet état « de choses était changé : il y avait de nombreux « ateliers et une population de 3,000 habitants. On « avait été forcé d'abattre beaucoup de bois; le dé-« frichement n'était commencé que depuis deux ans, « et l'on s'apercevait déjà de la diminution du vo-« lume des eaux employées au travail des machines. « *Cependant un pluviomètre prouva à M. Boussingault* « *que la quantité d'eau tombée la seconde année avait* « *été plus forte que celle recueillie pendant la pre-*« *mière.* »

Nous ne conclurons pas seulement de là, avec M. Becquerel, que le déboisement peut diminuer et faire disparaître des sources, sans qu'il tombe pour cela une moins grande quantité de pluie ; mais nous dirons avec plus de raison, et nous en donnerons tout à l'heure la justification, que le déboisement modifie les écoulements superficiels et en diminue les intensités, quoiqu'il tombe dans l'année une plus grande quantité de pluie.

Au reste, nous reviendrons sur ces divers faits,

que nous aurons occasion de citer plus en détail, à l'appui des solutions que nous allons présenter sur les deux autres questions.

Incertitudes sur la répartition entre les saisons de l'augmentation d'eau de pluie annuelle résultant du déboisement.

Nous venons de voir que, contrairement aux idées reçues, les déboisements ont pour effet d'augmenter la quantité de pluie annuelle. Cette augmentation se reporte-t-elle d'une manière uniforme sur toutes les saisons, ou est-elle inégalement répartie entre elles ? C'est ce qu'il nous est impossible de décider. Nous avons fait, pour éclairer cette question, de nombreuses recherches; mais, comme les idées se sont très-rarement portées sur ce point, les observations nécessaires manquent, et en leur absence il est impossible de conclure.

D'après quelques rapprochements, assez vagues toutefois, il nous semble que l'augmentation porterait plus sensiblement sur l'hiver que sur l'été, et peut-être ne serait-ce pas ce qu'il y aurait de mieux au point de vue agricole; mais, d'un autre côté, il nous semble aussi que, quoique l'augmentation soit très-faible pour la saison chaude, on aurait en compensation un peu plus de fréquence dans la chute de la pluie.

Ces aperçus, nous le répétons, ne doivent d'ailleurs être considérés que comme l'expression d'une faible probabilité, et auront besoin de passer par le contrôle de nombreuses expériences avant de pouvoir être présentés comme des lois positives.

Les écoulements superficiels sont plus réguliers sur les terrains découverts que sur les terrains boisés.

Mais au point de vue des inondations, ce côté de la question n'est pas, à beaucoup près, le plus important; ce qu'il est intéressant de savoir, c'est moins encore s'il y a dans un cas plus de régularité dans la chute de la pluie que dans l'autre, mais si les écoulements superficiels qui lui sont consécutifs sont plus prolongés, et par conséquent plus calmes, plus réguliers sur les terrains couverts d'arbres, que sur ceux qui se montrent à nu.

A cet égard, des témoignages importants par leur nombre et par l'étendue des surfaces auxquelles ils s'appliquent peuvent être invoqués.

M. Belgrand, qui a fait une étude spéciale de l'hydrologie du bassin de la Seine, généralise ainsi qu'il suit le résultat de ses observations[1] :

« La vaste contrée bornée au sud par le bassin « de la Seine, à l'est par celui de la Meuse, au nord « par la frontière de Belgique, et à l'ouest par l'O- « céan, est très-remarquable par la régularité du « régime de ses cours d'eau. Cette régularité est due « à la perméabilité des formations oolithiques et « crayeuses, à cette dernière surtout, qui non-seu- « lement couvre toutes les plaines de la Champa- « gne, mais encore enveloppe la plus grande partie « des plateaux tertiaires de la Normandie, de la « Picardie et de la Flandre française.

[1] *Annales des ponts et chaussées*, année 1852, 1er semestre, p. 102.

« Les terrains tertiaires donnent aussi très-peu « d'eau torrentielle aux rivières, soit parce que ces « eaux disparaissent dans la zone crayeuse qui les « entoure, soit parce que leur pente, trop faible, « s'oppose au ruissellement des eaux pluviales.

« Le granit du Morvan, le lias qui l'entoure, les « grès verts qui forment une bande étroite traver- « sant toute la contrée, donnent seuls des crues « complétement torrentielles, mais dont l'effet est « atténué par leur isolement au milieu des terrains « absorbants.

« Cette contrée comprend totalité ou partie des « vingt et un départements dont les noms suivent : « Aisne, Ardennes, Aube, Côte-d'Or, Eure, Eure-et- « Loir, Loiret, Marne, Haute-Marne, Nièvre, Nord, « Oise, Pas-de-Calais, Seine, Seine-Inférieure, Seine- « et-Marne, Seine-et-Oise, Somme, Vosges, Yonne, « et forme une surface de 107,000 kilomètres carrés « environ, c'est-à-dire à peu près égale au cinquième « de celle des quatre-vingt-six départements.

« Les cours d'eau les plus irréguliers, ou, si l'on « veut, qui donnent le plus d'eau torrentielle, se « trouvent dans les départements de l'Yonne, de la « Nièvre et de la Côte-d'Or surtout, et un peu dans « ceux de l'Aube, de la Haute-Marne et de l'Aisne; « cette région est très-boisée, plus boisée peut-être « que le reste de la France.

« Les départements les plus remarquables, sous « le rapport de la régularité des cours d'eau qui « y prennent naissance, sont : l'Eure, Eure-et- « Loir, Nord, Oise, Pas-de-Calais, Seine-Inférieure,

« Somme, les parties crayeuses de l'Aube et de la « Marne, et les parties de Seine-et-Oise et du Loiret « occupées par les calcaires de la Beauce; la plupart « des cours d'eau de ces contrées n'ont que des crues « très-faibles et très-longues, leur étiage est bien « soutenu; ce groupe de départements est peut-être « un des moins boisés de France, car l'Eure, l'Eure-« et-Loir, le Nord, l'Oise, le Pas-de-Calais, la Seine-« Inférieure, la Somme, ne renferment pas plus du « dixième de leur superficie en bois, et les plateaux « de la Beauce et les plaines crayeuses de la Cham-« pagne, si l'on ne tient pas compte des récentes « plantations de pins, sont complétement déboisés. »

Appuyons ces faits généraux par quelques détails qne nous empruntons encore à M. Belgrand [1] :

« Les crues éprouvées par les ruisseaux de la Cham-« pagne pouilleuse, terrains déboisés, sont insigni-« fiantes. Suivant M. Doré, le niveau d'eau de l'Ar-« dusson, principal affluent de la rive gauche de la « Seine en Champagne, ne varie que de 20 centi-« mètres dans les plus fortes crues.

« Suivant M. Vaissière, l'Essonnes et l'Orge, qui « descendent des plateaux déboisés de la Beauce, « n'éprouvent, pour ainsi dire, point de crues.

« Suivant M. de Saint-Claire, ingénieur à Lou-« viers, le débit d'étiage de l'Eure est de 8 mètres « par seconde, celui des plus grandes crues de « 90 mètres : rapport $\frac{90}{8} = 11.25$.

[1] *Annales des ponts et chaussées*, année 1854, 1er semestre, p. 14 et 15.

« Suivant M. l'ingénieur Cambuzat, ce rapport, pour la Somme, est de 55 à 20, soit 2,75.

« Les bassins de toutes ces rivières sont déboisés « ou très-peu boisés. »

Pour la rivière d'Ource, au contraire, dont le bassin est très-boisé, le rapport du débit des crues à l'état d'étiage est beaucoup plus considérable: il s'élève jusqu'au nombre 30.

L'ensemble de ces considérations et de ces faits nous semble de nature à démontrer de quel côté se trouve la plus grande irrégularité d'écoulement, et contribuera sans doute à déraciner ce préjugé, que les forêts sont les véritables modérateurs des eaux courantes.

Mais nous pouvons encore, et toujours grâce à M. Belgrand, porter une plus vive lumière sur ce point important de l'hydraulique du globe.

Dans le but d'éclairer la question qui nous occupe par des études directes, M. Belgrand a fait mesurer journellement, de novembre 1850 à mai 1853, les débits du Cousin et du ru de la Grenetière, qui est un de ses affluents. L'un et l'autre de ces bassins sont formés de terrains granitiques imperméables et de même nature, mais le premier n'est boisé que sur un tiers de sa superficie, tandis que le second est entièrement couvert de bois; or, malgré cette grande différence au point de vue de l'état forestier, les résultats ont été les mêmes de part et d'autre; ces résultats sont représentés graphiquement dans le mémoire de M. Belgrand; leur similitude, leur parfaite concordance sont ainsi mises en relief, et il n'est

personne qui, de l'inspection de ces tableaux, ne déduise avec l'auteur les conséquences suivantes :

« Le régime des deux cours d'eau est identiquement le même, quoique leurs bassins soient très-inégalement boisés.

« L'eau suit la même marche ascendante ou descendante dans les pluies ou dans les sécheresses, en hiver et en été; ils ont tous deux un régime de basses eaux d'hiver beaucoup plus abondant que celui d'été.

« Une forte pluie d'hiver produit dans les deux bassins une crue subite plus ou moins élevée, mais très-courte, suivie d'une longue crue moyenne; la partie courte et élevée correspond au même jour dans les deux figures. »

Les divers détails qui concernent les écoulements d'eau sont donc exactement les mêmes dans les deux cas, et cependant tout est forêt dans l'un, tandis que dans l'autre deux tiers de la superficie sont à découvert.

M. Belgrand a procédé à des expériences plus caractéristiques encore, et desquelles il résulte même que ce n'est pas sur les terrains boisés, mais sur les autres, qu'on observe le plus de régularité dans les écoulements.

Il a choisi, à cet effet, deux bassins imperméables l'un et l'autre; le premier complétement boisé, celui de la Grenetière; le second entièrement dénudé, celui du Bouchat. Il a étudié séparément, et pour les mêmes jours, ce qui se passe sur ces bassins, d'abord pendant la période des sécheresses, soit d'été, soit d'hi-

ver, en second lieu, pendant les temps pluvieux de ces deux saisons.

Nous ne donnerons pas ici le détail des observations jour par jour; il nous suffira d'en présenter un résumé qui en fera ressortir les conséquences. Voici d'abord les résultats obtenus pendant les deux périodes de sécheresse et pour les moments où il n'a pas plu.

ÉPOQUES.	NOMBRE DE JOURS D'OBSERVATIONS dans chaque mois.	DÉBIT MOYEN PAR SECONDE ET PAR KILOM. CARRÉ, pendant la durée des expériences. Ruisseau de Grenellière entièrement boisé.	Ruisseau du Bouchat entièrement déboisé.
	Régime d'hiver en temps sec.		
Décembre 1851.	6	10lit,30	11lit,75
Mars 1852.....	5	8 »	5 ,68
Avril 1852.....	7	6 ,50	7 ,24
Moyenne de l'écoulement pour toute la durée des observations...		8lit,18	8lit,31
	Régime d'été en temps sec.		
Septembre 1851.	6	0lit,87	1lit,60
Juillet 1852....	6	1 ,17	0 ,07
Moyenne de l'écoulement pour toute la durée des observations..		1lit,02	0lit,83

Il ressort très-évidemment de ce tableau qu'il y a parité presque complète dans les deux bassins; les moyennes des écoulements dans chaque saison sont sensiblement égales, toutefois on peut constater une légère différence favorable, au point de vue de la régularité, au bassin boisé, dont le régime d'hiver est huit fois plus grand que celui d'été, tandis que

dans l'autre bassin le rapport est décuple. Mais il ne s'agit ici que d'un très-petit écart.

Si maintenant nous comparons les deux régimes d'hiver et d'été en temps pluvieux, nous obtiendrons les résultats consignés dans le tableau suivant.

Nous rappelons que, dans chaque mois, non-seulement les observations faites sur les deux bassins sont en nombre égal, mais qu'en outre elles ont eu exactement lieu aux mêmes jours.

ÉPOQUES.	NOMBRE DE JOURS d'observations dans chaque mois.	Ruisseau de Grenetière.		Ruisseau du Bouchat.	
		SOMMES des pluies pour chaque mois.	MOYENNES des débits par seconde et par kil. carré.	SOMMES des pluies pour chaque mois.	MOYENNES des débits par seconde et par kil. carré.
Régime d'hiver en temps pluvieux.					
Février 1852....	14	42mm,2	61 lit,63	51mm,3	53 lit,57
Novembre 1852.	5	28 ,8	95 ,66	36 ,6	62 ,48
Janvier 1853...	10	35 ,4	74 ,62	92 ,0	50 ,76
Sommes pour les pluies et moyennes pour les débits.....		106mm,4	71 lit,97	180mm,9	53 lit,79
Régime d'été en temps pluvieux.					
Septembre 1851.	5	27mm,1	5 lit,42	43mm,8	6 lit,22
Mai 1852.......	4	20 ,9	3 ,45	13 ,2	3 ,62
Juin 1852......	9	56 ,3	14 ,99	55 ,5	9 ,01
Juillet 1852....	3	22 ,8	2 »	19 ,5	1 77
Septembre 1852.	6	22 ,8	11 ,83	26 ,5	15 ,88
Sommes pour les pluies et moyennes pour les débits.....		149mm,9	9 lit,36	158mm,5	8 lit,42

Les indications que nous allons déduire de ce tableau seront concluantes.

Et d'abord, on remarquera que, pour des durées égales, soit en hiver, soit en été, les quantités de pluie

recueillies ont toujours été plus considérables, non-seulement dans leur ensemble, mais encore dans presque tous leurs détails, sur le bassin du Bouchat, que sur celui de la Grenetière, c'est-à-dire sur les terrains dénudés, que sur les terrains couverts. Ce nouveau fait vient donc s'ajouter à tous ceux que nous avons déjà produits pour prouver la vérité de notre conclusion, que les forêts diminuent plutôt qu'elles n'augmentent la quantité de pluie annuelle.

En second lieu, si on compare chaque débit moyen à la pluie correspondante, on trouvera que, pour chaque millimètre de hauteur de pluie tombée, il a coulé, savoir :

Par le ruisseau de Grenetière :

En hiver.	0^{m3},679
En été.	0 ,062

Par le ruisseau du Bouchat :

En hiver.	0^{m3},299
En été.	0 ,053

Il n'y a donc pas une très-grande différence entre les régimes d'été des deux ruisseaux, et, à cet égard, ces nouvelles observations conduisent à la même conséquence que les précédentes.

Mais la différence devient énorme, elle dépasse la proportion du double, lorsqu'on établit la comparaison entre les régimes d'hiver des deux cours d'eau. Cette différence est d'ailleurs toute favorable, au point de vue de la régularité des écoulements, au ruisseau du Bouchat; d'où il faut conclure que si, en été, c'est-à-dire de mai à septembre, les amoncelle-

ments de liquide ne sont pas plus à craindre dans un bassin que dans l'autre, il n'en est pas de même, à beaucoup près, dans le semestre compris d'octobre à mai, c'est-à-dire dans celui pendant lequel se produisent les plus redoutables inondations; dans ce cas, les bassins boisés ont un désavantage très-prononcé.

Finalement, les effets comparatifs des pluies d'hiver et d'été dans le bassin boisé de la Grenetière sont tels, qu'ils fournissent respectivement des débits qui sont entre eux dans le rapport de 679 à 62, ou de 11 à l'unité, tandis que, pour le bassin déboisé du Bouchat, ce rapport devient celui de 6 à 1.

On peut donc dire que l'irrégularité des écoulements entre la saison chaude et la saison froide varie du double au simple, suivant que les versants sont boisés ou qu'ils ne le sont pas.

Ainsi, non-seulement ce principe si souvent répété dans le public, si généralement admis par lui, que les forêts jouissent de la propriété d'équilibrer les écoulements des deux saisons, n'est pas exact, mais l'expérience vient nous démontrer que c'est tout le contraire qu'il faut croire; qu'en conséquence, au point de vue du mouvement des eaux à la surface de la terre, la disparition des forêts a été chose utile, et que le reboisement, si souvent et si énergiquement demandé, ne serait qu'une funeste opération.

Les forêts ne jouissent pas de la propriété de régulariser le régime des sources.

Passons maintenant aux considérations relatives

aux sources, et cherchons à savoir ce qu'il faut penser de leur régime d'hiver comparé à celui de l'été.

M. Belgrand s'est aussi occupé d'envisager la question à ce point de vue; à cet effet, il a étudié avec beaucoup de soin la marche des écoulements de la rivière d'Ource, qui doit sa principale alimentation à des sources nombreuses. Nous reproduirons ici en entier son travail, car les divers détails justificatifs dans lesquels il entre ne pourraient supporter l'analyse sans perdre beaucoup de leur intérêt.

« Il était, dit-il, très-intéressant de déterminer l'in-« fluence des bois sur le régime des sources.

« On a vu au commencement de cette notice que « les auteurs qui ont écrit sur cette matière pensent « qu'une plus grande partie des eaux pluviales doit « profiter aux sources dans les terrains boisés.

« Les expériences faites en 1852 sur la rivière « d'Ource font voir ce qu'il y a de fondé dans cette « opinion.

« La forme graphique des crues de cette rivière « prouve qu'elle est alimentée à peu près uniquement « par des sources.

« Son bassin est en effet très-perméable, et si l'on « fait abstraction de quelques lambeaux d'argile à « bélemnites de la formation du lias, disséminés au « fond des vallées dans la partie supérieure, on n'y « trouve que des calcaires oolithiques très-absor-« bants. D'immenses forêts en occupent au moins les « deux tiers, ou peut-être les trois quarts.

« Les sources qui alimentent la rivière forment « deux groupes très-remarquables. Le premier se

« trouve dans la partie supérieure du bassin, au ni« veau d'eau déterminé par le contact de l'oolithe in« férieure et des marnes à bélemnites. Il donne nais« sance à une multitude de ruisseaux tributaires de « l'Ource.

« Le second groupe ne se trouve pas à un niveau « déterminé; il existe au fond de la vallée principale « et d'un vallon secondaire, dans la traversée des « marnes d'Oxford. Les autres vallées secondaires « très-nombreuses qui sillonnent le bassin dans cette « formation restent habituellement sèches.

« Cependant, à la suite des grandes pluies d'hiver, « ainsi que je le dirai plus bas, certaines de ces val« lées sèches donnent naissance à des sources consi« dérables, mais éphémères, et qui ne résistent pas « à une longue sécheresse.

« Les deux régions de sources sont séparées par « une étendue de 15 à 20 kilomètres de terrains secs « dans lesquels on ne remarque que quelques sources « correspondant aux marnes de la terre à foulon. « Dans les étés peu pluvieux, les eaux de la rivière « viennent se perdre entièrement dans ces terrains, « de telle sorte qu'il n'est pas rare de trouver son « lit à sec pendant plusieurs mois sur 3 ou 4 kilo« mètres de longueur.

« Il n'y a, au contraire, jamais absorption com« plète de la rivière à l'aval du second groupe des « sources.

« Ces premiers faits font voir déjà quelle différence « considérable il existe entre le régime d'été et le ré« gime d'hiver des sources du premier groupe, puis-

« que leurs produits, en été, peuvent être absorbés « entièrement par le lit même de la rivière, tandis « qu'en hiver celle-ci conserve toujours un débit très- « abondant.

« En effet, bien que les premiers mois de 1852 « aient été peu pluvieux, l'Ource s'est maintenue à un « niveau constamment élevé en janvier et en février; « de faibles pluies dans ces deux mois, et en novem- « bre et décembre, ont toujours produit une recru- « descence sensible. Il n'en est plus de même en été.

« A la suite des sécheresses extraordinaires de la « fin de février, de mars, d'avril, et du commence- « ment de mai, le niveau de la rivière baisse lente- « ment, et finit par arriver au plus bas étiage.

« Des pluies très-abondantes, du 25 au 31 mai et « au commencement de juin, ne suffisent pas pour « relever notablement son niveau. Vers le milieu de « juin, il faut six jours de pluie abondante (0^m,036) « pour produire une crue assez forte.

« Du 27 juin au 17 juillet, nouvelle sécheresse qui « amène une baisse des eaux. Une énorme pluie de « 42^{mm},5, tombée le 18, ne produit pas de recru- « descence.

« Il en est de même des pluies de la fin de juillet, « du commencement d'août; du 26 juillet au 13 « août, il tombe 82^{mm},6 d'eau, sans que le niveau de « la rivière change d'une manière sensible; seule- « ment ces pluies continuelles empêchent ce niveau « de tomber très-bas, comme en avril.

« Enfin, une pluie de 0^m,035, tombée le 18 août, « et suivie de plusieurs jours pluvieux, détermine

« une forte crue, qui, de même que toutes celles « de la même rivière, dure un mois environ. Il n'a « pas fallu moins de 0^{m},143 de pluie pour pro- « duire cette crue, qui est fort extraordinaire, car « de mémoire d'homme on n'en avait pas vu de sem- « blable dans la saison chaude.

« Dès que le régime d'hiver est établi, de très- « faibles pluies produisent des effets considérables. « Ainsi, du 30 octobre au 6 novembre, une série de « petites pluies de 16^{mm},60 relèvent sensiblement le « niveau de la rivière. Des pluies de 3^{mm},80, 6^{mm},20, « tombées du 13 au 14, du 16 au 17 du même mois, « amènent des variations de niveau encore plus mar- « quées; enfin, une série de pluies de 31^{mm},8, tombée « du 20 au 25 novembre, détermine une forte crue, « plus forte que celle du mois d'août.

« La hauteur totale de pluie tombée du 30 octobre « au 25 novembre est de 58^{mm},40, et cette hauteur a « produit une crue plus considérable que les 0^{m},143 « tombés en août et septembre.

« On doit conclure de là que l'Ource doit avoir des « crues périodiques d'hiver dues au gonflement des « sources, et que les crues d'été doivent y être exces- « sivement rares, ou, en d'autres termes, que les « pluies d'été, malgré la grande étendue des bois du « bassin, ne profitent pour ainsi dire pas aux sour- « ces, tandis que celles d'hiver et de printemps y ar- « rivent en telle abondance, qu'elles produisent tous « les ans de véritables inondations, et c'est en effet « ce qui a lieu. L'origine de ces crues ne saurait être « douteuse; car si dans les premiers jours la rivière

« roule des eaux un peu troubles, elle ne tarde pas « à devenir complétement limpide. Elles sont donc « dues au gonflement des sources, car les eaux tor- « rentielles sont toujours boueuses.

« Outre les sources pérennes, les terrains oolithi- « ques renferment un grand nombre de sources éphé- « mères qui ne coulent que l'hiver, et souvent même « pendant quelques jours seulement, aux époques « de grandes pluies.

« La disposition de ces régions de sources est fort « remarquable. L'une d'elles, située dans la vallée « d'Ource, se compose de quatre sources principales, « dont la plus basse est pérenne; celle qui vient en- « suite coule toujours l'hiver, mais tarit souvent « l'été; la troisième est toujours à sec l'été, et la « quatrième coule à peine dans les hivers très- « pluvieux. Cette partie du bassin d'Ource est très- « boisée.

« On trouve cette disposition de sources dans « presque toutes les formations marneuses des ter- « rains oolithiques, c'est-à-dire que chaque région « de sources se compose d'un petit nombre de « sources pérennes, situées au fond de la vallée, et « d'un beaucoup plus grand nombre de sources éphé- « mères, étagées les unes au-dessus des autres, et « qui tarissent successivement en été. Ce qu'il y a « de singulier, c'est que les sources éphémères, lors- « qu'elles coulent, sont très-souvent les plus abon- « dantes. La source de la Peutegueule, à Chamoux, « près Vezelay (affluent de l'Yonne), celle de Cham- « preau, vallée du Serain, qui coulent rarement plus

« de quatre à cinq jours, produisent de véritables « inondations.

« Tous ces faits font comprendre comment le dé-« bit de certaines rivières, comme l'Ource, alimen-« tées uniquement par des sources, peut varier dans « le rapport de 1 à 30, et plus de l'été à l'hiver, et à « peu près périodiquement.

« Les terrains dont il vient d'être question sont « très-boisés ; les bois sont donc loin de régulariser « le régime des sources, et, chose singulière, ces « grandes variations de débit n'existent pas dans les « terrains déboisés ou relativement peu boisés. »

Nous aurons à ajouter nous-même quelques observations à celles de M. Belgrand ; mais comme elles sont une conséquence des principes que nous allons développer au sujet de la troisième question, leur exposition actuelle nuirait à la liaison des idées ; elles se présenteront naturellement dans le cours de la discussion ; occupons-nous donc maintenant de l'influence des forêts sur le phénomène des inondations.

Les déboisements diminuent plutôt qu'ils n'augmentent l'intensité des inondations.

Si, lorsqu'on considère les effets de la pluie dans le cours de l'année entière, il est nécessaire de tenir compte, pour la supputation des résultats produits, de la puissance plus ou moins grande de l'évaporation, lorsqu'au contraire on se borne à étudier les effets des pluies d'orage, on peut négliger cette cause de perte, car elle est à peu près nulle : d'abord,

parce que la durée de ces pluies est fort courte; en second lieu, parce que le fait même de la chute de la pluie est un indice que les actions évaporatrices doivent produire dans ce moment leurs résultats minima.

Si donc, à ces époques, les écoulements de surface ne représentent pas la totalité de la pluie versée, il est impossible d'attribuer la différence à une cause autre que celle de l'infiltration à travers les terres.

Nous n'ignorons pas que quelques ingénieurs ne calculent pas ainsi, et nous pourrions en citer qui, dans leurs appréciations, ont fait une part excessivement large à l'évaporation en temps d'orage, même dans les mois les plus froids de l'hiver. On est allé jusqu'à en porter la valeur, pour une seule pluie, à une tranche de liquide de 0m,033 de hauteur. C'est là une évidente exagération dont un peu de réflexion aurait fait justice, et qu'il faut mettre sur le compte de cette croyance très-générale, contre laquelle nous n'avons pas manqué de protester, et qui a fait, pendant longtemps, attribuer à l'évaporation toute la différence qu'on observe entre le débit de la pluie et celui de l'écoulement de surface.

Ce n'est pas ainsi qu'ont agi les ingénieurs, malheureusement en très-petit nombre, qui ont cherché à se rendre compte de la véritable marche des phénomènes. Nous pouvons nous appuyer à ce sujet sur une autorité qui ne sera méconnue par personne, celle de Prony. Dans son projet de desséchement des marais Pontins, ce célèbre ingénieur attribue une grande valeur à l'absorption; pour les marais d'Arles,

cette valeur est plus grande encore; mais, dans aucun cas, il n'a cru devoir faire intervenir dans ses calculs la valeur de l'évaporation, au moment même de la chute de la pluie.

Au reste, dans la question spéciale dont nous nous occupons ici, avoir égard à l'évaporation, ce serait agir en faveur de la thèse que nous cherchons à démontrer, puisque, de l'aveu de tout le monde, l'évaporation est moins active sur les terrains boisés que sur les terrains cultivés, et que par conséquent les écoulements de surface auront plus d'intensité sur les premiers que sur les seconds.

Mais, dans notre opinion, les différences résultant de cet ordre de considérations sont d'une importance très-secondaire, et nous ne chercherons pas à nous en prévaloir.

Cela posé, comparons, au point de vue de l'absorption, le sol des forêts et celui des terres cultivées.

Dans les premières, nous trouvons un sol battu, ferme, toujours humide; dans les secondes, une surface remplie d'aspérités, dans un grand état de division, souvent caractérisée par une grande sécheresse.

Dans les premières, la mousse, les herbes croissent à volonté, les lits de feuilles desséchées s'entassent chaque année les uns sur les autres et bouchent tous les interstices; les racines des arbres elles-mêmes pénètrent dans les fissures des rochers et les obstruent.

Dans les secondes, des sarclages fréquents enlèvent

avec soin les herbes parasites, divisent incessamment le sol et le mettent à découvert.

Dans les premières, les pentes plus ou moins inclinées présentent une surface dont l'uni n'est interrompu que par quelques reliefs naturels du terrain, qui peuvent arrêter momentanément les eaux, mais ne les gardent pas, et on n'y rencontre d'autres plis que ceux qui ont été créés par les écoulements naturels.

Dans les secondes, le sillonnage artificiel multiplie à l'infini les plis du terrain et donne à l'eau plus de temps et de facilités pour arriver dans le sous-sol.

Or, nous le demandons, dans quel cas l'écoulement superficiel sera-t-il le plus abondant?

Sera-ce sur un terrain ferme et battu, ou sur un terrain très-divisé?

Sera-ce sur un sol déjà humide ou sur celui qui est plus sec?

Sur celui qui est recouvert d'une véritable toiture d'herbes et de feuilles sèches et dont les fentes rocheuses sont envahies par les racines des arbres, ou celui qui montre à nu toute sa porosité, toutes ses fissures naturelles?

Sur celui qui n'a d'autres lignes d'écoulement que les ravins naturels, toujours dirigés suivant les lignes de plus grande pente, ou sur celui dans lequel le laboureur s'applique à détruire avec la charrue les effets des pentes naturelles, en creusant des sillons presque toujours rapprochés de l'horizontale?

La réponse à ces questions ne saurait être douteuse, et, quoi qu'on ait pu dire de la faculté qu'ont

les forêts de conserver l'eau, il doit être évident pour tous qu'au moment des orages, ce sont elles qui donnent naissance aux écoulements les plus abondants.

Sans doute, les forêts gardent l'eau, puisqu'elles sont toujours humides, mais ce n'est pas de l'eau renouvelée qu'elles gardent ainsi, c'est la même eau qui y séjourne longtemps. A cet égard, nous ne pourrions que répéter ici tout ce que nous avons déjà dit au sujet du drainage. Voilà pourquoi leur sol, déjà saturé, est impropre à conserver une partie importante des nouvelles masses versées par les orages; voilà pourquoi l'absorption y est presque nulle; voilà enfin pourquoi les écoulements superficiels y sont plus abondants que partout ailleurs. Si l'on ajoute à ces circonstances celle d'un plus facile et plus prompt écoulement par les lignes de plus grande pente, on n'aura aucune peine à comprendre que, toutes choses égales d'ailleurs, et contrairement aux idées reçues, les forêts sont beaucoup plus dangereuses pour les inondations que les terrains cultivés.

Il n'est pas inutile de donner ici quelques exemples de la grande rapidité avec laquelle s'accumulent les eaux d'orage dans les bassins entièrement boisés; nous les empruntons aux travaux de M. Belgrand.

« Le 23 juillet 1851, une pluie de $0^m,020$ fut « donnée par un orage violent, tombé de trois à « quatre heures du soir. Dès que la tempête fut cal- « mée, je fis constater l'état du ruisseau de la Gre- « netière. Avant l'orage, le débit était de 9 litres;

« entre quatre et six heures, il s'éleva au maximum « de 97 litres ; à six heures, il était tombé à 34. »

Voici encore un autre exemple qui forme un épisode de la fameuse inondation d'octobre 1846.

« Le samedi 17, à onze heures du matin, dit « M. Belgrand, je visitais les travaux des deux ponts « que je fais construire à Arcy. La crue s'élevait à « peine à $0^m,30$ ou $0^m 40$ au-dessus de l'étiage. La « crue n'a commencé à se faire sentir qu'à l'entrée « de la nuit. A huit heures du soir, elle s'élevait si « rapidement, que les ouvriers qui travaillaient aux « épuisements de l'un des ponts étaient forcés de « quitter précipitamment les travaux, laissant sur « place les pompes et autres agrès. Un instant après, « le conducteur des travaux, pour sauver les registres « d'attachement et autres objets déposés dans une « baraque au bord de l'eau, était obligé de faire tra- « verser à la nage par un ouvrier les prairies cou- « vertes d'eau. Le lendemain, à huit heures du « matin, l'eau s'élevait contre les piles à $3^m,50$ au- « dessus de l'étiage, et, le lundi 19, la rivière était « rentrée dans son lit. Ainsi la crue a duré à peine « quarante heures. Or, si l'on se reporte aux chiffres « qui donnent les hauteurs d'eau tombée (nous les « avons fait connaître, ainsi que les dates, pages « 78 et 79), on verra que la pluie a régné avec une « grande intensité depuis le 15 jusqu'au samedi 17, « c'est-à-dire pendant trente-six heures ; par con- « séquent, la crue n'a guère mis plus de temps à « s'écouler que la pluie à tomber. Les nombreuses « forêts qui couvrent les versants de la rivière n'ont

« donc pas prolongé l'écoulement de la crue et, par « conséquent, n'ont pu en diminuer la hauteur. »

De tels faits, qui viennent ainsi donner une éclatante confirmation aux appréciations théoriques, nous semblent très-propres à dissiper les doutes et à montrer où l'on doit enfin chercher la vérité.

Nous n'insistons pas ici sur une objection assez souvent invoquée, et qui est plus propre à séduire le vulgaire qu'à satisfaire les esprits positifs. On a dit que les forêts laissaient couler moins d'eau que les autres terrains, parce que leurs feuilles en retenaient une notable quantité; comme si la surface lisse, unie et mobile de ces feuilles pouvait être comparée à cet égard à la porosité naturelle des terres végétales. Au reste, si l'on veut savoir ce qu'on doit penser de la quantité d'eau ainsi retenue, qu'on prenne une feuille de papier ordinaire, ni trop mince, ni trop épaisse; qu'on la pèse à l'état sec, qu'on la plonge ensuite en entier dans l'eau, et qu'on la pèse de nouveau à l'état humide, on connaîtra ainsi la quantité d'eau qu'elle aura absorbée. Or, cette eau ne représentera pas, pour la surface entière de la feuille, une tranche de plus de 1/10 de millimètre de hauteur. L'eau ainsi retenue est donc tout à fait insignifiante, comparativement aux volumes fournis par les pluies et surtout par celles d'orage.

C'est ici le lieu de revenir sur certains faits relatifs aux variations de régime de quelques lacs d'Amérique, et que nous avons promis de reprendre avec plus de détail. Nous empruntons à M. Becquerel le récit de ce qui s'est passé.

« Il existe plusieurs lacs sur les plateaux de la « Nouvelle-Grenade, à une hauteur de 2,000 à « 3,000 mètres, où la température, toute l'année, est « de 14 à 16 degrés; les habitants du village de Du- « baté, situé près des deux lacs qui étaient réunis il « y a une soixantaine d'années, ont été témoins de « l'abaissement graduel des eaux; de telle sorte que « les terrains qui se trouvaient sous les eaux, il y a « trente ans, sont aujourd'hui livrés à la culture.

« M. Boussingault s'est assuré que ce changement « est dû à la disparition de nombreuses forêts qui « ont été abattues. »

Ne résulte-t-il pas évidemment de là que les forêts, loin de disperser les eaux à la surface de la terre, tendent, au contraire, à les accumuler et à augmenter l'intensité des écoulements superficiels, et que les terrains cultivés produisent un effet contraire?

Citons un second fait, plus remarquable encore que le premier :

« La vallée d'Aragua, province de Venezuela, si- « tuée à peu de distance de la côte, joint à un climat « très-favorable un sol d'une grande fertilité. Elle « est bornée au nord par la chaîne du littoral, au « sud par des montagnes, à l'est et à l'ouest par des « collines qui la ferment de toutes parts; les rivières « qui y coulent n'ont donc point d'issue vers l'Océan. « En se réunissant, elles donnent naissance au lac de « Tacarigua ou de Valenciana, qui, à l'époque où le « vit M. de Humboldt, au commencement de ce siècle, « éprouvait depuis une trentaine d'années un dessé- « chement graduel, dont on ignorait la cause.

« Oviedo, historien de la province de Venezuela
« dans le dix-huitième siècle, rapporte que la ville
« de Nueva-Valencia fut fondée en 1155, à une demi-
« lieue du lac de Tacarigua. Cette ville, suivant M. de
« Humboldt, qui visita cette contrée en 1800, en était
« éloignée de 2,700 toises, preuve du retrait des eaux,
« qu'attestent du reste un grand nombre de faits. Il
« attribua la diminution des eaux aux nombreux
« défrichements qui avaient été faits dans la vallée.
« En 1822, M. Boussingault apprit des habitants que
« les eaux du lac avaient éprouvé une hausse très-
« sensible; des terres jadis cultivées étaient alors
« sous les eaux. Dans l'espace de vingt-deux ans,
« la vallée avait été le théâtre de luttes sanglantes
« durant la guerre de l'Indépendance ; la population
« avait été décimée; les terres étaient restées in-
« cultes; et les forêts, qui croissent avec une si pro-
« digieuse rapidité sous les tropiques, avaient fini
« par occuper une grande partie du pays. On voit
« par là l'influence qu'exerce le boisage sur la quan-
« tité d'eau qui coule ou qui séjourne dans un
« pays. »

Ce double fait de la diminution d'abord, de la recrudescence ensuite des eaux du lac, coïncidant, le premier avec la disparition des forêts, le second avec le reboisement du pays, ne saurait laisser aucun doute sur la grande influence des arbres pour provoquer les amoncellements des masses liquides, comparativement à celle des terres cultivées pour activer leur dispersion; il nous paraît être une confirmation des plus remarquables, portant avec elle

son analyse et sa synthèse, des opinions que nous venons d'émettre et des considérations théoriques sur lesquelles nous nous sommes appuyé.

A la suite de ces exemples, M. Becquerel se demande si la diminution des eaux provient d'une moindre quantité de pluie tombée ou d'une plus grande évaporation ? Les discussions précédentes nous permettent de répondre pertinemment à cette question. Non, pouvons-nous dire, la diminution des eaux ne provient pas d'une moindre quantité de pluie tombée, puisque nous avons prouvé que le déboisement augmente, au contraire, cette quantité; il faut l'attribuer en partie à la plus grande évaporation qui a lieu sur les terrains mis en culture, en partie surtout à la plus grande facilité d'absorption que prend le sol après le déboisement. Il y a donc dans ce cas deux puissances opposées, qui agissent l'une contre l'autre; d'une part, l'augmentation annuelle de l'eau qui tombe sur le sol; de l'autre, la double diminution du liquide de la surface, dont une quantité plus grande que par le passé rentre dans l'atmosphère, et dont une quantité plus grande encore se perd dans le sous-sol. Or, dans cette lutte, les pertes l'emportent sur le gain, et les mesures udométriques prises par M. Boussingault dans les montagnes métallifères de Marmato, à l'occasion d'une diminution bien constatée du volume des eaux courantes dans la contrée, sont la double preuve de l'un et de l'autre des deux principes que nous avons essayé d'établir dans cette partie de notre écrit.

Il n'est pas douteux pour nous, que plus on s'ap-

pliquera à réfléchir sur ces matières, et plus on reconnaîtra que les faits nombreux qui s'y rattachent, sainement interprétés, viennent confirmer notre manière de comprendre la marche de cet ordre de phénomènes. Depuis que notre travail est terminé, nous avons pu recueillir de nouvelles preuves de l'influence très-directe que les progrès de la culture exercent pour diminuer, au profit de l'absorption, le volume des eaux superficielles. Nous n'en reproduirons pas ici la nomenclature, mais nous ne saurions passer sous silence les faits très-caractéristiques que cite à ce sujet M. l'ingénieur en chef de Saint-Claire dans sa description du bassin de l'Eure[1] :

« Dans toutes les vallées, dit-il, même les moins « étendues, le fond est creusé par un ravin qui, au« trefois, se remplissait assez fréquemment d'eaux « torrentielles ; depuis une douzaine d'années, il « n'en est plus de même, leur lit est presque toujours « à sec ; ce changement remarquable a pour cause « certaine, et généralement reconnue dans le pays, « les progrès de l'agriculture, dont il pourrait à un « certain point donner la mesure. Les jachères ont « été supprimées ; les labours devenant fréquents, « et prenant plus d'extension, ont rendu le sol plus « perméable ; les cultivateurs, tirant meilleur parti « de la terre, ont mieux apprécié sa valeur et veillé « avec plus de soin à sa conservation ; au moyen de « fossés, de plantations, d'endiguements bien pla« cés, le cours des eaux pluviales a été barré partout

[1] *Annales des ponts et chaussées*, année 1857, 1er semestre, p. 207

« où elles se réunissaient avec abondance, afin de « prévenir les érosions, de provoquer des colmatages fertilisants, et de faire disparaître peu à peu « les inégalités de la surface qui rendaient la culture « plus difficile; les eaux, ainsi arrêtées dans leur « cours, ont pu s'infiltrer en grande partie dans un « sol ou un sous-sol perméables, et disparaître avant « d'arriver aux ravins.

« Ces améliorations agricoles, dans un pays où « les terres labourables occupent 61/100 de l'étendue du sol, ont donc atténué le volume des « eaux superficielles au profit des eaux d'infiltration; elles ont rendu moins fréquentes et moins « redoutables à l'avenir les crues des rivières, qui « doivent être attribuées, dans le bassin de l'Eure, « plutôt à une excessive abondance d'eaux superficielles qu'au débit des sources, à peu près invariables en tout temps. »

Ces détails ont un grand intérêt; ils sont, on peut le dire, la traduction expérimentale des principes ci-dessus exposés; ils corroborent pratiquement, avec une remarquable exactitude, les considérations théoriques que nous avons développées dans le but de prouver l'efficacité des progrès de la culture pour diminuer, dans une proportion notable, le volume des écoulements à la surface du sol.

Quant aux effets du déboisement sur les sources, il sera maintenant facile de s'en rendre compte. Il est d'abord essentiel d'établir deux catégories de sources, les unes que j'appellerai superficielles, les autres profondes.

Les premières viennent déboucher sur des points de la surface très-voisins des couches mêmes dans lesquelles se rassemblent les eaux qui les produisent; les secondes, au contraire, sont placées à des niveaux très-bas par rapport à ces couches, et les eaux, pour arriver à leur débouché, traversent quelquefois de longues étendues dans le sous-sol.

Les premières, généralement faibles, peuvent indistinctement appartenir à tous les terrains absorbants ou non; mais les secondes, quelquefois très-puissantes, appartiennent essentiellement et presque exclusivement aux terrains perméables.

Or, il est incontestable que l'humidité permanente du sol des forêts est favorable aux premières et doit entretenir dans leur faible débit un régime assez régulier. Il est donc très-probable que le déboisement qui fait passer la terre par des alternatives d'humidité et de sécheresse altérerait le régime de ces sources; que celles-ci seraient plus abondantes dans les temps pluvieux, qu'elles diminueraient en été et pourraient même être à sec plusieurs mois de l'année.

C'est ainsi qu'on peut expliquer la disparition de certaines sources observée après des déboisements.

Quant aux secondes, qui sont alimentées par l'absorption très-abondante qui s'opère à travers les terrains perméables, il n'en saurait être ainsi. Il résulte en effet des détails que nous avons donnés sur la manière différente dont se comportent, au point de vue de l'absorption, les terrains boisés et ceux qui sont cultivés, que dans les premiers cette faculté est

en grande partie détruite, tandis que dans les seconds elle est amplifiée. Déboiser les terrains perméables, c'est donc leur restituer la facilité de transmission des eaux que la végétation forestière, soit par le développement des racines, soit par la chute des feuilles, soit par la compacité du sol, leur avait fait perdre, et c'est contribuer par conséquent à une plus abondante alimentation des sources profondes. Aussi est-il à remarquer que les plus abondantes d'entre toutes, surtout en temps d'étiage, sont placées au pied des vastes plateaux calcaires presque complétement dénudés. Bornons-nous à citer celles de Cahors et de Louysse dans le département du Lot, et la fameuse fontaine de Vaucluse, dont nous avons longuement parlé, pages 57 et suivantes.

Terminons ces études sur la question du reboisement par l'examen d'une objection que nous avons souvent entendu reproduire et qui, loin d'infirmer nos précédentes conclusions, va nous conduire sur un terrain où nous trouverons un nouvel appui pour la confirmation de nos idées.

On a fait observer avec raison que, de tous nos grands bassins, celui de la Seine est incontestablement le plus boisé, il l'emporte à cet égard sur celui du Rhône, de la Loire, de la Garonne. Or, les volumes d'eau fournis par les crues de la Seine, comparativement à ceux d'étiage, sont très-notablement moindres que ceux des autres rivières; ces volumes d'eau sont également moindres dans leur valeur absolue; ainsi, les plus forts débits de la Seine ne paraissent pas pouvoir s'élever à plus de 3,000 à 4,000 mètres

cubes, tandis que ceux de la Loire atteignent 10,000, et que ceux de la Garonne dépassent ce nombre.

De ces divers faits on a conclu que les terrains boisés introduisent plus de régularité entre les régimes d'hiver et d'été des rivières, et qu'en outre ils diminuent l'intensité des inondations.

Sans doute, si les bassins qu'on compare étaient géologiquement de même nature, si les terrains avaient des étendues, des pentes, des facultés absorbantes égales, s'ils recevaient tous de la pluie les mêmes quantités d'eau, l'objection serait fondée, et il en faudrait accepter les conséquences; mais on oublie, en raisonnant ainsi, que ces divers éléments, loin d'être les mêmes partout, sont au contraire partout différents, et que dès lors toute comparaison devient impossible.

Lorsqu'on veut procéder à des études semblables, il faut, comme l'a dit M. Belgrand dans les recherches que nous avons citées, que les conditions essentielles soient autant que possible identiques dans les deux cas, qu'il y ait surtout égalité dans les degrés de perméabilité; il ne faut pas raisonner sur des débits absolus, mais sur des débits rapportés à une même mesure superficielle. Il faut enfin comparer ces débits à ceux de la pluie qui leur a donné naissance; alors les résultats deviennent concluants et donnent les moyens de fixer les idées sur la véritable influence exercée par les forêts.

On voit donc que l'objection, telle qu'elle est posée, reste sans valeur, et que les comparaisons qu'on

cherche à établir en suivant cet ordre d'idées ne sont pas aussi simples qu'on pourrait le penser.

Mais si nous avions trois ou quatre bassins de la Seine topographiquement et géologiquement identiques, tous taillés sur le même patron, qu'on me passe le mot, recevant tous les mêmes influences de la part des agents extérieurs, et variant seulement entre eux par des proportions différentes de terrains boisés et de terrains déboisés, certes alors il serait facile d'être parfaitement fixé sur la question qui nous occupe.

Or, ces bassins, si remarquablement semblables les uns aux autres, nous les avons ; ce sont ceux de la Seine dans les dix-septième, dix-huitième et dix-neuvième siècles. Tout y est égal dans chaque cas, si ce n'est l'étendue des forêts, qui a été sans cesse en diminuant. De sorte que si nous possédions des renseignements précis, des mesures exactes sur les plus fortes inondations survenues à ces époques, on pourrait facilement contrôler par l'expérience l'exactitude de nos appréciations théoriques.

Des observations de cette nature ont eu lieu en effet ; elles nous permettent de remonter jusqu'en 1615, époque assez voisine de celle où l'industrie a commencé à se développer en France, et où, par conséquent, le déboisement a dû être pratiqué sur une plus grande échelle.

Nous avons ainsi à notre disposition un intervalle de cinq demi-siècles. Dans un mémoire publié en 1814, l'ingénieur Egault a recueilli les remarques de ses prédécesseurs, les a discutées et est parvenu

à coordonner entre eux les niveaux de la plupart des grandes inondations signalées.

Nous réunissons les résultats qu'il a obtenus avec ceux qui ont été indiqués et mesurés depuis lui, et nous consignons le tout dans le tableau suivant :

DATES DES INONDATIONS.	HAUTEURS AU PONT DE LA TOURNELLE.	MOYENNES PAR DEMI-SIÈCLE.
11 juillet 1615........	9m,14	8m,34
janvier 1649.......	7 ,65	
janvier 1651.......	7 ,80	
1er mars 1658........	8 ,80	8 ,03
— 1690.........	7 ,50	
mars 1711.........	7 ,55	
25 décembre 1740.....	7 ,90	7 ,77
janvier 1751.......	6 ,70	
14 novembre 1764.....	7 ,00	
4 mars 1784.........	6 ,66	6 ,83
4 février 1799........	6 ,97	
3 janvier 1802.......	7 ,45	
3 mars 1807.........	6 ,66	
mai 1836..........	5 ,68	6 ,47
février 1850.......	6 ,07	

Les indications fournies par ce tableau sont frappantes. La baisse continue des inondations pour chaque demi-siècle est un fait des plus remarquables. Les eaux s'élevaient en moyenne à 8m 34 dans la première moitié du dix-septième siècle ; elles ne s'élèvent qu'à 6m,47 de notre temps; sous ce rapport, nous avons eu une amélioration de près de 2 mètres, et cependant on n'a pas cessé d'abattre des arbres, de transformer les forêts en terres cultivées.

Que ferions-nous donc aujourd'hui, je le demande, en reboisant nos terrains? Pas autre chose qu'une

malheureuse tentative pour revenir à ces anciens temps où le niveau des crues de la Seine s'élevait jusqu'à 9 mètres au-dessus de l'étiage. Et qu'on le remarque bien, le niveau du Paris de cette époque était plus bas que celui du Paris moderne, le champ des inondations était donc plus vaste et les nappes liquides perdaient en élévation ce qu'elles gagnaient en largeur. Aujourd'hui, au contraire, Paris s'est exhaussé, les quais qui bordent la rivière donnent à celle-ci, pour un même débit des eaux, des regonflements supérieurs à ceux d'autrefois, et cependant la portée des inondations a diminué de 1 mètre par siècle.

Il nous est donc permis de déduire de ces études cette triple et heureuse conclusion : que, contrairement aux idées généralement accréditées, le déboisement nous donne :

Plus de pluie dans l'année,
Moins d'eaux torrentielles,
Plus de blé.

CHAPITRE VII.

APERÇUS SUR L'ÉVALUATION DES DÉPENSES ET SUR LES VOIES ET MOYENS.

PREMIÈRE SECTION.

Évaluation des dépenses.

Incertitudes naturelles de cette évaluation. — Son utilité malgré ces incertitudes.

On serait dans l'erreur si l'on pensait que, dans un travail comme celui dont nous nous occupons ici, nous sommes en mesure de présenter des évaluations de dépenses, marquées au coin d'une rigoureuse précision. Manquant en grande partie des données spéciales nécessaires pour apprécier avec certitude le développement des ouvrages à exécuter; ne connaissant que médiocrement les localités, privé de renseignements sur la nature des matériaux à mettre en œuvre, sur l'abondance ou l'exiguïté des ressources dont on pourrait disposer dans chaque vallée; n'ayant, en un mot, qu'un très-faible contingent des éléments nécessaires pour la préparation et la production de projets consciencieusement étudiés, nous ne pourrons guère offrir au lecteur que d'assez vagues aperçus sur les métrés des travaux et sur leurs dé-

penses réelles, et ce n'est pas par centaines de mille francs, mais par millions qu'il faudra compter les différences probables entre nos supputations approximatives et les véritables sommes qui seront dépensées en exécution.

Peut-être objectera-t-on que, dans ce cas, il eût été préférable de s'abstenir. Cela serait vrai, et nous serions nous-même le premier à partager cette manière de voir, s'il y avait aujourd'hui nécessité de connaître avec exactitude les dépenses, c'est-à-dire si, étant chargé de l'application de notre système pour la défense d'une vallée, nous étions arrivé au moment d'exécuter les travaux. Mais c'est moins de cette exécution proprement dite qu'il est question dans cet écrit que de la recherche du meilleur mode à suivre pour la préparer. Ce mode a été discuté par nous dans ce qui précède; il a été étudié dans ses principes essentiels, examiné dans ses convenances techniques, apprécié au point de vue de ses conséquences utiles. Mais, même sans sortir du cadre des généralités, il nous reste encore quelque chose à faire, et le travail de préparation que nous avons entrepris resterait incomplet, si nous ne disions tout au moins comment nous entendons qu'il faudra s'y prendre pour satisfaire aux exigences financières des opérations que nous avons décrites. A cet égard, le lecteur comprendra sans peine qu'il s'agit moins en ce moment d'être renseigné sur la parfaite exactitude d'un chiffre de dépense que de savoir si c'est avec une somme faible, moyenne ou très-forte, qu'on pourra satisfaire aux nécessités de la situation; si c'est par unités seule-

ment, par dizaines ou par centaines qu'il faudra compter les millions qu'on doit s'attendre à dépenser. Posée en ces termes, la question d'une estimation rigoureuse perd son importance, et celle du système financier qu'il faudra mettre en œuvre pour se procurer les ressources nécessaires, suivant la nature probable de leur quotité, la domine et doit passer avant elle.

Il est évident, en effet, que s'il était permis d'entrevoir dès à présent que quelques millions suffiront pour porter remède au mal, il n'y aurait guère nécessité de recourir à des mesures exceptionnelles pour se les procurer, et qu'à l'aide de quelques allocations à inscrire sur le budget de l'Etat, on satisferait à tous les besoins. Si, au contraire, il est démontré qu'il faudra dépenser, pour l'ensemble de nos fleuves, quelques centaines de millions, et si, en présence de cette nécessité, vient se placer, en outre, celle de conduire rapidement les travaux à leur terme, on pourra prévoir que, dans ce cas, il y aurait sinon impossibilité, tout au moins imprudence à faire peser une si lourde charge sur le budget, et qu'il faudra se mettre à la recherche de combinaisons propres à se procurer en peu de temps d'importants capitaux.

Tel est le seul but que puissent avoir en ce moment nos investigations sur le montant, assez incertain, d'ailleurs, des sommes à dépenser. Or, l'on verra que, malgré cette incertitude, les chiffres que nous obtiendrons seront de nature à faire disparaître toute irrésolution au sujet du système financier qu'il conviendra d'adopter.

Appréciation des dépenses pour la Loire.

Nous bornerons cette partie de nos recherches à ce qui concerne un seul fleuve, la Loire, pour lequel nos renseignements nous paraissent un peu moins indéterminés que partout ailleurs; les résultats obtenus pour cette vallée donneront une idée suffisante des sommes sur lesquelles il faudrait compter pour toutes les autres; nous en présentons ici les détails, que nous avons cherché à rendre aussi complets que possible.

Réservoirs. — Nous nous sommes déjà expliqué sur l'importance des retenues d'eau à créer sur l'artère principale, en amont de Roanne. Nous avons dit qu'elles devaient offrir une capacité d'au moins 175 millions de mètres cubes. Mais si ce nombre peut paraître suffisant pour une crue comme celle de 1846, il ne le serait pas pour celle de cette année, surtout en ayant égard aux circonstances qui se sont produites dans la marche progressive du phénomène de la pluie. Les détails dans lesquels nous sommes entré à cet égard ont démontré la nécessité de créer aussi des réserves sur les principaux affluents; nous pensons qu'il faut augmenter de 125 millions le nombre précédent, et porter par conséquent jusqu'à 300 la capacité des réservoirs.

Occupons-nous maintenant du prix de revient de ces ouvrages.

M. Boulangé, dans le mémoire que nous avons eu tant d'occasions de citer, parle de vingt-quatre retenues qu'on pourrait établir dans la seule étendue du

département de la Loire; il en fait connaître la dépense, mais, malheureusement, il ne s'explique pas sur le nombre de mètres cubes qu'on pourrait ainsi emmagasiner.

En consultant quelques études faites par divers ingénieurs sur la construction des réservoirs, je forme le tableau suivant :

Désignation des localités.	Contenances.	Dépenses.
	m. c.	fr.
Réservoirs pour la navigation de la Seine et de l'Yonne. . . .	120,000,000	5,500,000
Réservoirs pour la navigation de la Baïse et du Gers, et pour irrigations.	50,000,000	4,000,000
Etang de Gros-Bois, canal de Bourgogne.	8,500,000	3,600,000
Total. . . .	178,500,000	13,100,000

Ces données, dans lesquelles figurent des prix très-bas, ordinaires et excessifs, nous paraissent très-propres à l'établissement d'une moyenne.

Nous en déduirons qu'en matière de réservoirs permanents, surtout lorsqu'on doit en faire un grand nombre, et dans diverses localités, on peut compter moyennement sur une dépense de 80,000 fr. pour chaque million de mètres cubes emmagasinés.

En conséquence, les 300 millions dont il a été parlé ci-dessus coûteront. . . . . 24,000,000 fr.

Digues transversales. — Lorsque nous nous sommes occupé de ce qui concerne l'établissement des digues transversales, nous

A reporter : 24,000,000

Report : 24,000,000 fr.

avons reconnu que, pour qu'elles réduisissent de moitié la pente naturelle des eaux dans la vallée de la Loire, il fallait qu'elles fussent espacées entre elles de la distance d'une lieue.

Or, comme on compte du bec d'Allier à l'embouchure, en suivant les sinuosités du fleuve, 190 lieues, il en résulte que si ce moyen de défense devait être généralisé dans toute la vallée, il faudrait 190 couples de digues.

Mais la grande efficacité des réservoirs créés dans les parties montagneuses doit évidemment être prise en considération.

Les calculs que nous avons présentés au sujet de la diminution introduite par ce moyen dans les hauteurs des crues à Roanne sont de nature à démontrer combien à l'avenir l'importance des désastres sera atténuée.

Ajoutons que les digues transversales elles-mêmes et les réservoirs temporaires auxquels elles donneront naissance diminueront de plus en plus les dangers, à mesure qu'elles seront établies en plus grand nombre. Nous nous en référons à cet égard aux idées que nous avons développées à la fin du cinquième chapitre. On conçoit d'après cela qu'il serait inutile de vouloir en construire partout. Toutefois, nous avons insisté sur la nécessité de leur établissement dans le voisinage des centres de population, et nous avons montré que deux réservoirs de cette nature, construits en amont d'une ville et autant en aval, formeraient une capacité de 36 millions. La création de pareils ouvrages sur dix points différents du cours de

A reporter : 24,000,000

Report : 24,000,000 fr.

la Loire serait suffisante pour protéger directement toutes les villes importantes, et pour porter à 360 millions les masses d'eau temporairement emmagasinées. Cette ressource, jointe à celle des réservoirs permanents, nous paraît devoir conjurer tous les dangers.

C'est donc à 40 couples de digues transversales que nous croyons devoir nous arrêter. Au reste, si l'expérience prouvait que ce n'est pas encore assez, il serait facile de multiplier les digues jusqu'à ce qu'enfin leur nombre fût en rapport suffisant avec les besoins.

Nous estimons d'ailleurs qu'en profitant convenablement des accidents de terrain la longueur de chaque digue sera de 1 kilomètre, ce qui fait 2 kilomètres pour chaque couple.

L'ensemble des 40 couples exigera donc que la construction totale se développe sur 80 kilomètres de longueur.

Nous admettons que les digues auront une hauteur moyenne pour toute leur longueur de 3 mètres, que leur largeur en couronne sera de 4 mètres, que leurs talus seront réglés à raison de 1 1/2 de base pour 1 de hauteur. Qu'enfin, elles seront gazonnées sur toute leur superficie.

De ces données, il résulte que le volume des terres nécessaires par mètre courant sera de $25^{mc},50$, qui, au prix de $0^{f},70$, comme nous l'avons admis pour les terrassements analogues des canaux de dérivation,

A reporter : 24,000,000

Report : 24,000,000 fr.

coûteront. . . . . 17 fr. 85 c.

L'emplacement des digues exigera 13 mètres carrés de surface par mètre courant, et comme d'ailleurs elles sont surtout construites dans le voisinage des villes, nous croyons devoir porter à 1f,25 le prix du mètre carré. Cette partie de la dépense sera donc de. 16 25

Enfin, comptant 15 mètres superficiels de gazonnement à 0f,25 l'un, ci. 3 75

On a un total de. 37 85

Il suit de là que ces trois natures de dépenses exigeront par kilomètre de digue, et par conséquent pour chacune d'elles. . . . 37,850 fr.

Il faut ajouter à cela les travaux de charpente et d'enrochements pour la construction des plans inclinés à l'extrémité des digues du côté du fleuve, travaux destinés à consolider l'ouvrage dans la partie qui doit limiter le lit majeur, et pour lesquels nous comptons en bloc une somme de 10,000 fr., ci. 10,000

Portant enfin une somme à valoir de. 2,150

On arrive à un chiffre définitif, pour chaque digue, de. 50,000

Ce qui, pour les 40 couples, forme un total de. 4,000,000

Nous avons raisonné ici dans la supposition

A reporter : 28,000,000

Report : 28,000,000 fr.

que, pour la Loire, on conserverait les digues longitudinales, mais toutefois en les abaissant et les renforçant ; dans cette circonstance, le travail des digues transversales a plus encore pour objet de défendre les terrains que de les colmater. Dans ce système, comme nous avons eu soin de le faire remarquer, on perd l'avantage de recevoir les limons fertilisants, et on se préoccupe surtout de sauver des récoltes qui, eu égard au mode de culture adopté, peuvent être trop précieuses pour rester exposées à des chances fâcheuses. C'est un côté de la question au sujet duquel nous avons dit qu'il était nécessaire d'étudier avec soin les localités.

On conçoit d'ailleurs sans peine que, dans ce cas, les réservoirs formés par les digues transversales deviennent permanents. On les videra quand on voudra.

Dans les vallées où, au contraire, on recevra les eaux librement, le nombre de digues transversales devra être proportionnellement augmenté, mais alors on évitera la construction des vannes, dont il va être parlé ci-dessous, et l'on pourra consacrer toute la dépense de cette construction à celle des digues transversales.

Vannes. — Nous avons expliqué que dans une vallée comme celle de la Loire, sur laquelle existe, avec un grand développement, le système des digues longitudinales, on pourra être conduit, par les diverses considérations que nous avons fait valoir dans le chapitre cinquième, à conserver, sous la réserve de

A reporter : 28,000,000

Report : 28,000,000 fr.

certaines modifications, ce moyen de défense. Il est donc nécessaire de percer ces digues de nombreuses vannes, destinées à mettre le courant principal en communication avec les réservoirs temporaires, à introduire dans ceux-ci les volumes d'eau qu'on voudra emmagasiner, et à les y retenir ensuite aussi longtemps que les circonstances de l'écoulement pourront l'exiger.

Occupons-nous donc de déterminer le nombre de ces vannes.

Pour ne pas nous faire illusion sur l'efficacité des mesures mises en œuvre dans cette circonstance, et pour nous tenir à cet égard plutôt en dessous qu'en dessus de la vérité, nous supposerons que la charge moyenne d'eau sur le centre de l'orifice pendant tout le temps que fonctionneront les vannes ne sera que de $0^m,90$, ce qui suppose que le seuil des vannes sera à $2^m,50$ en contre-bas du niveau d'inondation, à partir duquel ces appareils commenceront à jouer.

Cela posé, si l'on donne à chacun de ces ouvrages 1 mètre de largeur et $1^m,50$ de haut, on se convaincra que leur débit moyen sera de 4 mètres cubes par seconde ; de sorte que si l'on veut que les quatre réservoirs placés, savoir : deux à l'amont, deux à l'aval de chaque ville, reçoivent ensemble 1,000 mètres cubes par seconde, il faudra les munir de 250 vannes pareilles, ce qui porte à 2,500 le nombre total des vannes nécessaires pour les dix systèmes semblables que nous proposons d'établir.

A reporter : 28,000,000

Report : 28,000,000 fr.

Si l'on n'avait égard qu'aux conditions d'économie dans la construction de ces ouvrages, ce qu'il y aurait de mieux à faire serait de les grouper ensemble par huit ou par dix. Mais, en agissant ainsi, on créerait sur certains points pendant l'ouverture des vannes des écoulements excessifs qui pourraient beaucoup nuire aux terres voisines. Nous pensons donc qu'une telle concentration serait dangereuse et qu'il faut l'éviter en disséminant autant que possible ces ouvertures. En les supposant réunies par deux seulement, nous avons calculé que le volume de maçonnerie pour chaque couple pourrait varier de 60 à 65 mètres cubes. Cette maçonnerie, composée en partie de pierres de taille, en partie de briques et de moellons, nous paraît susceptible d'être évaluée au taux de 45 fr. le mètre cube, ce qui représente une dépense de 2,925 fr., qui, en y joignant les travaux indispensables de terrassements, et la valeur des bois, tôles, fers et engins nécessaires pour le vannage proprement dit, pourront s'élever à 4,000 fr. pour chaque couple. Les 1,250 couples pareils vaudraient donc. 5,000,000

Canaux de dérivation et de décharge. — Bien que les canaux de dérivation ne puissent être admis en principe, à cause de leur faible utilité, comparée à l'énormité de leurs dépenses, nous avons cependant expliqué que les grands intérêts qui sont concentrés dans les villes pourraient imposer à l'État l'obligation d'en comprendre quelques-uns dans l'énumération des dépenses à faire. Nous avons

A reporter : 33,000,000

Report :	33,000,000 fr.

établi, lorsque nous nous sommes occupé de l'ouverture de ces canaux, que leur prix de revient moyen serait de 148,000 fr. par kilomètre. Mais comme, autour des villes, les terrains sont plus chers et qu'on est loin d'avoir pour conduire les tracés les mêmes facilités qu'en rase campagne, nous pensons qu'il est nécessaire de faire subir à ce chiffre une notable augmentation et qu'il ne serait pas prudent de compter sur une dépense moindre de 230,000 à 240,000 fr. par kilomètre.

Un canal de 5 kilomètres coûterait donc 1,175,000 fr. ; de sorte que pour la construction de cinq canaux pareils on peut porter en compte. 6,000,000

Appropriation des voies de communication. — La construction des digues transversales entraînera la nécessité d'approprier au nouvel état de choses les voies de communication actuellement existantes.

Les dépenses pour chaque voie interceptée pourront varier suivant les pentes adoptées pour les raccordements, et suivant les hauteurs relatives du niveau des routes et de celui du couronnement des digues. En employant pour ces éléments des valeurs comprises entre des limites acceptables, c'est-à-dire entre des différences de niveau de 1 à 3 mètres et des différences de pente de $0^m,03$ à $0^m,05$ par mètre courant, nous sommes conduit à admettre que les travaux pourront coûter en terrassements et empierrements, suivant les cas, 3,000 fr. au minimum et 7,000 fr. au maximum, soit en moyenne 5,000 fr.

A reporter :	39,000,000

Report: 39,000,000 fr.

A quoi il nous paraît convenable d'ajouter une moyenne de 1,500 fr. pour les ouvrages d'art qu'il pourra être nécessaire de construire à nouveau ou d'amplifier.

Ce serait donc en tout un prix de revient de 6,500 fr. par raccordement. Si l'on suppose que pour chaque digue il y en aura deux, leur nombre total s'élèvera à 160, et exigera, par conséquent, une dépense de. 1,000,000

Création d'un lit d'étiage. — L'établissement de vastes réservoirs permanents dans les parties supérieures des vallées permettra d'obtenir, pour la navigation, de grandes améliorations.

Mais cet avantage, dont nous avons fait apprécier l'importance, ne pourra être complétement réalisé qu'à la condition qu'on créera dans le fleuve un bon lit d'étiage. Nous ignorons jusqu'à quel point ce genre de travaux a été développé dans la Loire; nous ne savons pas non plus quelle est la fraction de son cours navigable sur laquelle ces travaux sont nécessaires; à en juger par les analogies qu'il nous est permis d'établir entre les régimes d'autres rivières, cette fraction peut varier, suivant les cas, entre 1/4 et 1/10.

Mais la Loire, à ce point de vue, se trouve dans des circonstances très-défavorables, et peut-être faudrait-il compter pour elle plus du quart; mais s'il en est ainsi aujourd'hui que son volume d'étiage descend à 30 mètres cubes, les difficultés seront notablement diminuées lorsque les eaux tenues en réserve dans les montagnes pourront facilement tri-

A reporter: 40,000,000

Report : 40,000,000 fr.

pler ce volume. Nous croyons donc faire une large part aux exigences de la situation en portant à 120 kilomètres la longueur sur laquelle la création d'un lit d'étiage devra être entreprise. Si on prend pour base des dépenses celle indiquée par M. Baumgarten pour les travaux de la Garonne [1], on trouverait un chiffre de 100 fr. par mètre courant; mais M. Baumgarten a opéré pour un fleuve qui ne roule à l'étiage que 50 mètres cubes environ, et il y en aura plus du double à l'avenir dans la Loire. Son appréciation de 100 fr. doit donc être réduite. Nous avons eu nous-même occasion d'exécuter des travaux de ce genre, et, en consultant notre expérience, nous sommes conduit à admettre comme très-probable le chiffre de 65 fr. par mètre courant.

L'ensemble de ces travaux coûtera donc. . 8,000,000

Travaux sur les divers affluents. — Il ne paraît guère possible que l'on puisse se borner aux seuls travaux ci-dessus qui, à l'exception de ceux des réservoirs permanents, ne concernent que la vallée de la Loire proprement dite. En tenant compte des divers épisodes de la dernière crue, on ne saurait douter qu'il faudra aussi construire quelques digues transversales, et probablement quelques canaux de décharge dans certaines vallées secondaires. Des cours d'eau comme l'Allier, l'Indre, le Cher et quelques autres, ne peuvent être abandonnés sans défense, et,

A reporter : 48,000,000

[1] *Annales des ponts et chaussées*, année 1848, 2me semestre, p. 108.

Report :	48,000,000 fr.
eu égard à leur développement et à l'importance de quelques-uns, ainsi qu'à celle des dépenses faites pour le fleuve principal, nous croyons devoir tenir compte, pour cet objet, d'une somme de 10 à 12 millions, ci.	12,000,000
Somme à valoir. — Enfin, comme, en matière d'ouvrages hydrauliques, il est nécessaire de réserver une forte part à l'imprévu, et que, dans l'exécution de ceux-ci surtout, on pourra avoir à lutter à plusieurs reprises contre l'envahissement des eaux, nous évaluons à 10 millions l'importance de la somme à valoir, ci.	10,000,000
On arrive donc, pour l'ensemble, à une dépense de.	70,000,000

Les détails dans lesquels nous venons d'entrer, nous le répétons, ne sont pas tellement précis qu'on puisse considérer notre évaluation comme rigoureusement exacte ; mais nous avons expliqué, dès le début de ce chapitre, que l'utilité immédiate de cette exactitude n'était pas l'objet le plus important en ce moment. Ajoutons que ces détails, tout incomplets qu'ils soient, auront cependant l'avantage de fixer les idées sur les considérations principales auxquelles on devra avoir égard pour la supputation des dépenses, et qu'au point de vue des éléments à mettre en œuvre, des calculs auxquels il faudra se livrer, des recherches qu'on devra entreprendre, de la direction générale qu'il faudra imprimer au travail de l'évaluation des dépenses, ils contiennent des indications

qui, ce nous semble, pourront être mises à profit dans la préparation des projets définitifs.

Au reste, quelque imparfaites que soient ces estimations, quelle que soit l'étendue qu'on voudra raisonnablement attribuer aux limites des erreurs possibles, que la dépense des travaux, au lieu d'être de 70 millions, descende à 60 ou s'élève à 80, il n'en résulte pas moins, et c'est là surtout ce que nous avions eu vue d'établir, qu'il faudra des sommes considérables pour porter un remède efficace au mal.

Importance des dépenses pour toute la France.

Si l'on juge, par analogie, de ce qu'il faudra faire pour l'ensemble de nos rivières, comme la Saône, le Rhône, l'Isère, la Garonne, et quelques autres, d'après les résultats que nous venons d'obtenir pour la Loire, nous pensons qu'il conviendra de quintupler le chiffre que nous venons d'obtenir pour ce dernier fleuve, et qu'on doit par conséquent s'attendre, pour la totalité de notre territoire, à une dépense d'environ 350 millions. C'est un gros budget, sans doute, mais qu'on veuille bien réfléchir que, pour de nombreuses années de prospérité, ce budget est à peine le sixième de celui de deux années de guerre.

Heureusement la guerre, qui impose de si dures nécessités, n'aura été qu'une crise passagère, tandis que la paix, nous pouvons l'espérer aujourd'hui, c'est l'avenir avec une longue période de bonheur et de progrès; car, ainsi que l'a dit une auguste parole[1]:

[1] Discours d'ouverture de la session législative de 1856.

« Les souverains ont vu la France qui envoyait deux « cent mille hommes à travers les mers, convoquer en « même temps à Paris tous les arts de la paix, comme « si elle eût voulu dire à l'Europe : La guerre actuelle « n'est encore pour moi qu'un épisode ; mes idées et « mes forces sont en partie toujours dirigées vers les « arts de la paix. » Pensée consolante, non-seulement pour notre pays, mais pour l'Europe entière, et qui, si nous en croyons les symptômes qui naissent et se développent autour de nous, est déjà devenue le cri de ralliement des nations civilisées.

Si maintenant on réfléchit qu'une grande partie de l'efficacité de la dépense que nous venons de supputer dépendra de la promptitude avec laquelle les travaux seront exécutés, si l'on pense comme nous qu'il faudrait qu'ils fussent terminés en cinq ou six ans, on voit qu'il serait impossible, sans porter une grave perturbation dans le budget de l'État, de faire supporter à celui-ci la totalité de la dépense de ces travaux, et qu'il faudra par conséquent recourir à d'autres voies pour se procurer les fonds nécessaires à leur complète et prompte exécution ; c'est ce dont nous voulions, dès à présent, convaincre le lecteur ; c'est ce dont nous nous occuperons en détail dans la section suivante.

Observations comparatives entre les dépenses à faire et l'importance des pertes résultant des inondations.

Mais, avant de procéder à l'exposition de cette partie de nos recherches, il convient d'examiner si l'in-

tensité du mal est telle qu'il soit raisonnable de se livrer à une entreprise qui doit coûter si cher.

Il est certain que les travaux dont nous venons de tracer le programme exigeront, pour leur réalisation, d'importants capitaux; mais nous sommes porté à croire que si l'on met cette dépense en regard de celle représentant les pertes qui sont la conséquence des dernières inondations, ce qu'elle paraît avoir d'excessif s'atténuera dans une grande proportion. Pour en revenir plus spécialement à la Loire, la crue de ce fleuve, en 1846, bien que fort désastreuse, est encore loin de pouvoir être comparée, quant à ses effets, à celle qui vient d'avoir lieu, et cependant, suivant le *Moniteur* du 3 juin 1847, nous l'avons déjà dit, elle a produit des désastres tels que les pertes appréciables qui en ont été le résultat se sont élevées à la somme de 40 millions. Or, combien, dans ces moments de désolation, n'y a-t-il pas de pertes qu'il est impossible d'enregistrer! Ce chiffre est significatif, il en dit assez pour faire apprécier l'importance de celui qu'atteindront les supputations de 1856.

Nous ne connaissons pas les relevés officiels qui ont dû être faits à ce sujet, et il nous est par conséquent impossible de parler de ces chiffres avec certitude; mais les navrants détails que nous avons recueillis dans les récits du temps ne laissent que trop deviner, même en faisant la part de quelques exagérations, tribut inévitable payé à la douleur, toute l'étendue des calamités qui ont frappé à la fois l'agriculture, l'industrie et, ce qui est plus terrible encore, la vie des hommes. Reproduisons ici quelques-uns

de ces détails; car on oublie facilement en France, et, tant que le mal n'est pas réparé, il n'est pas inutile d'insister sur des souvenirs, sans lesquels nous ne compterions peut-être pas assez avec nos devoirs. Nous donnons, dans ce but, quelques extraits des journaux de cette époque :

« 1° On n'a pas encore de renseignements précis « sur l'étendue des pertes, mais on peut dire qu'elles « sont incalculables. Il y a maintenant à Lyon au « moins vingt mille personnes sans asile. Combien « ont péri, nul ne le sait encore. On ne peut pas éva- « luer à moins de trois cents le nombre des maisons « détruites. »

« 2° Dans la vallée de l'Isère, en amont et en aval « de Grenoble, depuis la frontière de Savoie jusqu'aux « bords de la Drôme, de larges brèches se sont ou- « vertes dans les digues, ont livré passage aux eaux, « et l'immense et magnifique plaine du Graisivau- « dan, couverte de riches et abondantes récoltes, a « été submergée en quelques moments, et trans- « formée en un lac tumultueux.

« 3° Les villages de la Palud sur le Rhône, du Bou- « chage sur l'Isère, de Jargeau sur la Loire, ont été « presque entièrement détruits. On avait d'abord « parlé de vingt ou trente maisons abattues dans « cette dernière localité, on était loin de compte : il « y en a plus de cent gisant à terre, sans compter « celles qui menacent de tomber. Nous ne dirons « rien des récoltes, il n'en existe plus. Il y avait là des « terres qui valaient de 3,000 à 4,000 fr. l'arpent ; « elles ne sont plus aujourd'hui qu'un marécage,

« un désert ensablé, une fondrière remplie de cail-
« loux.

« 4° Les vieux murs d'Avignon avaient, depuis le « treizième siècle, suffi pour protéger l'intérieur de « la ville : tout cela n'a pas tenu deux heures contre « la fureur du Rhône.

« 5° D'après les premières évaluations, l'arrondis-« sement d'Arles perd à lui seul une valeur de 12 « millions.

« 6° L'administration, si noblement secondée par « l'élan généreux des populations, non-seulement en « France, mais en Europe, l'administration fait beau-« coup pour les victimes du cataclysme diluvien d'où « nous sortons à peine, et pourtant elle éprouvera « d'immenses, d'insolubles difficultés pour adoucir « toutes les infortunes. Jugez-en par quelques chif-« fres : dans la Nièvre seule, treize mille hectares « sont submergés, deux mille familles sont sans « asile, vingt-cinq ponts sont emportés, dix routes « coupées, cinq digues rompues. Dans le Lot-et-« Garonne, il faudrait 12 millions de francs pour « réparer les pertes les plus importantes et les plus « navrantes ; dix mille personnes sont sans asile. On « ne se fait aucune idée de ces désastres. Ils sont de « ceux que les plumes les plus colorées, les plus « exagérées même, n'ont pu peindre.

« 7° Le gouvernement s'occupe des moyens de ré-« parer immédiatement les digues, routes, ponts et « canaux envahis par les eaux. Les appréciations « *provisoires* données par les ingénieurs pour cette « catégorie de dépenses s'élèvent déjà, pour le Rhône

« et la Loire seulement, à 14 millions ; quand ce tra-
« vail sera complété, il restera ensuite à compter avec
« l'Isère, la Garonne, le canal du Berry, le Cher, l'Al-
« lier, l'Indre, la Vienne, le Lot, l'Adour.

« 8° Tout est consommé ! s'écrie avec douleur le « *Journal de Maine-et-Loire*, tout est consommé ! La « part de l'eau est faite, large, immense. Il est impos- « sible de dire aujourd'hui quelle est l'étendue du « sacrifice ; l'avenir seul montrera jusqu'à quel point « s'élèvent nos pertes de toute nature.

« Nous avions près de nous une belle et riche val- « lée, véritable jardin dans le jardin de l'Anjou, une « vallée dont les produits étaient recherchés et for- « maient une des branches principales de l'approvi- « sionnement d'Angers et de Saumur ; elle a disparu « tout entière sous l'eau.

« Nous avions à nos portes une industrie séculaire « qui donnait l'existence à des milliers d'ouvriers, « qui était une source de fortune pour beaucoup de « nos concitoyens, qui ajoutait, par l'abondance et la « qualité de ses produits, un lustre à la renommée « d'Angers ; elle a été envahie par les eaux.

« Hier, la population d'Angers parcourait les routes « de la Pyramide et de Trélazé pour s'assurer de l'in- « tensité des désastres. Elle a vu cette commune na- « guère si florissante, si animée, plongée dans l'eau « triste et morne. Deux mètres d'eau au moins cou- « vrent le sol. L'église est baignée à cette hauteur ; les « maisons sont englouties, ne laissant paraître, pour « la plupart, que leurs toits. »

Ces affligeants détails, rapprochés des fréquentes

et cruelles épreuves du passé, ne confirment que trop cette vérité, que le système de travaux entrepris jusqu'à ce jour pour conjurer les effets des crues est complétement insuffisant; il s'agit donc moins, dans les pénibles circonstances où l'on se trouve, de dépenser peu que de dépenser utilement. La question à résoudre est, avant tout, une question d'efficacité; celle d'économie doit passer au second rang.

Ajoutons que ce n'est point par sa valeur absolue qu'il faut apprécier une dépense, mais par sa comparaison avec les ruines qu'elle peut éviter, avec les grands intérêts qu'elle peut sauvegarder.

Pour s'éclairer à ce sujet, il serait éminemment utile, comme nous l'avons indiqué dans le cours de cet écrit, comme cela a été fait en Belgique pour les grandes entreprises d'améliorations territoriales, qu'il fût procédé à un recensement général de ces intérêts; qu'on connût l'étendue des terres, le nombre des maisons particulières, celui des établissements publics, l'importance des entreprises commerciales et industrielles qui, à des époques périodiques bien connues aujourd'hui, sont sujets aux désastres des inondations; qu'on fût enfin parfaitement fixé sur la valeur de tout ce qu'un fleuve peut menacer, envahir et détruire.

Les chiffres de ce bilan donneraient une juste idée de la somme à laquelle il pourra être permis d'élever les dépenses de construction des ouvrages défensifs, et j'ai l'intime conviction que, quand ce travail sera fait, les esprits les plus réservés accepteront sans dif-

ficulté le montant de cette dépense réparatrice, quelque élevé qu'il ait pu leur paraître d'abord.

Il est malheureusement très-probable que je ne me placerai pas au-dessus de la vérité en évaluant, pour la Loire seulement, à 120 millions les désastres provenant des inondations depuis 1846 jusqu'en 1856, c'est-à-dire dans un intervalle de dix ans. C'est donc une perte annuelle de 12 millions, représentant, au taux de 4 pour 100, un capital d'environ 300 millions. Telle est la mesure, selon nous très-modérée, des forces actives de la société que le fleuve rend improductives; il s'agit donc de savoir si cet état de choses doit être maintenu, ou si, en dépensant moins que le quart de ce capital, il n'y a pas intérêt à le faire cesser? Poser une telle question, c'est la résoudre.

N'oublions pas d'ajouter que, dans le système de travaux que nous proposons, non-seulement cette perte de forces actives sera évitée, mais qu'elle sera au contraire remplacée par les bénéfices certains qui seront la conséquence de l'aménagement général des eaux, tel que nous le proposons.

DEUXIÈME SECTION.

Voies et moyens.

Impossibilité de mettre à la charge de l'État la totalité des dépenses à faire.

Nous avons expliqué dans ce qui précède que l'exécution des ouvrages évalués dans la première section exigerait une dépense considérable, montant approximativement à 350 millions; nous avons ajouté qu'il y avait nécessité de les mener promptement à leur fin. Nous avons conclu de là que ce ne serait pas sans de grandes difficultés qu'il serait possible d'imposer une pareille charge au budget de l'Etat.

D'ailleurs, on pourrait contester à bon droit la justice d'une pareille détermination, et l'on ne voit pas pourquoi, si un précédent de cette nature venait à s'établir, l'Etat refuserait désormais de porter remède, à ses frais, aux désastres de diverses sortes qui se produiraient dans toute l'étendue du territoire, soit par les inondations, soit par les incendies, soit par la grêle, soit par tout autre fléau.

Ce n'est pas que nous ne reconnaissions que les travaux à faire auront, à plusieurs points de vue, une utilité réelle pour l'Etat, et nous ne manquerons pas d'avoir égard à cette considération dans l'exposé qui nous reste à faire; mais les mêmes travaux auront aussi incontestablement de très-grands avantages pour les propriétés, préservées à l'avenir des pertes

qui viennent de les frapper; ces propriétés acquerront ainsi une plus-value certaine, et nous n'énoncerons qu'un principe juste en disant qu'elles doivent être appelées à contribuer, dans une proportion qu'il sera facile d'établir, à la dépense qui aura pour objet de leur assurer cette plus-value.

Création d'une annuité destinée à pourvoir aux nécessités de la dépense.

Cela posé, voici ce qu'il nous paraîtrait convenable de faire.

Supposons qu'on ait déterminé dans une vallée, celle de la Loire, par exemple, le périmètre qui enceint le champ de l'inondation, et qu'on ait divisé l'espace compris dans ce périmètre en diverses zones, en prenant pour base de cette division les chances plus ou moins fâcheuses que peuvent avoir ces zones d'être ravagées par le débordement; absolument comme on le pratique lorsqu'il s'agit de desséchement de marais; de sorte que nous n'innovons pas, nous ne faisons que développer l'application d'un principe déjà admis dans l'administration du pays.

Au reste, des opérations analogues à celles dont il est ici question, entreprises et aujourd'hui exécutées sur une vaste échelle, avec le concours des propriétaires, dans un pays voisin du nôtre, prouvent que les difficultés qu'on pourrait avoir à redouter ont une médiocre importance. Les mesures législatives arrêtées en Belgique pour l'amélioration de la Campine, pour le canal de desséchement de Zelsaete, pour l'écoulement des eaux du midi de Bruges, sont aujour-

d'hui sanctionnées par l'expérience, et pourront être consultées avec fruit lorsqu'il s'agira d'organiser les travaux que nous aurons à exécuter en France.

Les zones dont nous venons de parler auront plus ou moins d'intérêt à la construction des ouvrages défensifs et à leur maintien en bon état; imposons-leur des taxes proportionnelles à ces intérêts, nous aurons ainsi créé le principe d'un revenu annuel; ce principe me paraît devoir être la base principale de la partie financière de l'entreprise.

Quelle pourra donc être l'importance de ce revenu? Puisque dans la Loire, par exemple, les pertes annuelles s'élèvent à un minimum de 12 millions, ce serait déjà une incontestable amélioration que d'exonérer les intéressés de la moitié de ces pertes : on pourrait donc compter dans ce système sur une recette annuelle de 6 millions; mais ceci ne concerne que les pertes réellement éprouvées. A cette première recette, il faudrait ajouter celle des taxes des propriétés, qui, quoique menacées, quoique ayant un besoin continuel de défense, ont pu ne pas souffrir dans les dernières inondations, mais qui pourraient être frappées à leur tour dans les inondations suivantes, si des travaux protecteurs n'étaient pas exécutés. Il est à croire qu'avec cette addition on n'obtiendrait pas une somme inférieure à une dizaine de millions. Réduisons ce chiffre d'un peu plus de moitié, et arrêtons-nous à 4,800,000 fr., ce qui porterait à la somme de 24 millions l'annuité pour toute la France.

Nous montrerons tout à l'heure comment, avec ce

revenu annuel, nous pourrons facilement et rapidement satisfaire à toutes les exigences.

Répartition de cette charge annuelle entre l'État et les autres intéressés.

Mais, ainsi que nous l'avons déjà reconnu, les avantages à retirer des travaux ne profiteront pas seulement aux propriétaires des terrains, aux commerçants et aux industriels des localités inondées, ils profiteront aussi dans une proportion assez importante à l'Etat.

Celui-ci, en effet, s'assurera par ce moyen, non-seulement la rentrée certaine de contributions auxquelles il est obligé de renoncer après chaque inondation, mais encore une augmentation d'impôts résultant, d'une part, de la plus-value acquise au sol par la protection que lui donneront les travaux de défense et, d'autre part, des améliorations que les dépôts limoneux assureront désormais aux terrains.

De plus, nous avons eu soin de faire remarquer que les réservoirs permanents pourront servir à créer des puissances hydrauliques et à alimenter d'utiles canaux d'irrigation, qui, augmentant la valeur territoriale du sol, seront directement ou indirectement une cause d'accroissement pour les revenus du budget.

Ajoutons, enfin, que dans l'exécution de cette entreprise, l'État trouvera les moyens d'apporter de grandes améliorations à la navigation de toutes les rivières, et que cette circonstance, qui développera la prospérité du pays, sera pour le Trésor une nouvelle source de revenus.

A la suite de ces considérations, on est conduit à conclure que l'État doit entrer en participation dans les dépenses. Nous pensons que sa part contributive dans la somme annuelle de 24 millions peut être portée à 12 millions, et que le reste doit être laissé à la charge des autres intéressés. Au reste, cette répartition n'a rien d'absolu dans notre système, et l'administration, après mûr examen, restera libre d'en arrêter les bases définitives.

Nécessité d'une rapide exécution des travaux.

Avec ce revenu annuel de 4,800,000 fr. pour la Loire, on pourrait en douze, quinze ou vingt ans, suivant l'importance réelle de l'opération, achever les travaux. Mais un pareil délai serait évidemment trop long; n'employer qu'une ressource annuelle d'environ 5 millions, pour conjurer des pertes presque triples, serait s'exposer à entreprendre un travail sans fin.

Il serait à peu près impossible d'espérer qu'un si long espace de temps s'écoulerait sans de nouvelles irruptions des eaux, et, par conséquent, sans des pertes importantes pour les propriétés, sans de graves avaries pour les travaux, dont la dépense et la durée s'augmenteraient ainsi indéfiniment.

Qu'il nous soit permis de citer, à ce sujet, l'autorité du grand homme qui comprenait si bien comment devaient être traitées les vastes et utiles entreprises destinées à développer la prospérité du pays.

« On évalue, disait l'empereur Napoléon Ier en « s'adressant à ses ministres, on évalue la dépense

« du canal de Bourgogne à 30 millions; on ne peut
« dépenser que 1,500,000 fr. par an sur les fonds de
« l'État et des départements; il faudrait donc vingt
« ans pour achever ce canal. Que se passera-t-il pen-
« dant ce temps? Des guerres et des hommes ineptes
« arriveront, et les canaux resteront sans être ache-
« vés. J'ai fait consister la gloire de mon règne à
« changer la face du territoire de mon empire.
« L'exécution de ces grands travaux est aussi néces-
« saire à l'intérêt de mes peuples qu'à ma propre
« satisfaction. »

Or, il y a plus de nécessité aujourd'hui à porter remède au fléau des inondations, qu'il n'y en avait alors à achever le canal de Bourgogne ; aussi le chef de l'État, dans la lettre qu'il a adressée au ministre des travaux publics, insiste-t-il sur la nécessité de se mettre à l'œuvre et de trouver une solution immédiate.

Dans les circonstances où l'on se trouve, plus l'exécution sera prompte, plus le bienfait aura d'importance et d'efficacité ; c'est en cinq ou six ans au plus, nous le répétons, que tout doit être fini. Mais pour cela, il faut pouvoir compter à la fois et sur beaucoup d'argent, et sur beaucoup de bras.

Application de l'annuité à la souscription et au service d'un emprunt.

Dans ce but, au lieu de nous servir du revenu annuel de 24 millions pour l'appliquer directement à l'exécution des travaux, considérons-le comme une ressource annuelle destinée à servir l'intérêt d'un

emprunt de 350 millions, à amortir progressivement le capital de cet emprunt, à pourvoir aux besoins de l'entretien, à venir même en aide par une sage application du principe de la mutualité des secours aux victimes futures des inondations.

Un tel emprunt, dont les versements échelonnés par parties égales sur cinq années ne s'élèveraient qu'à 70 millions par exercice, ne saurait être évidemment considéré comme se trouvant peu en rapport avec les forces du pays; nous pensons qu'il devrait être directement émis par l'État, suivant le mode adopté pour ceux qui ont eu pour objet de subvenir aux besoins de la guerre. Le remarquable empressement avec lequel ces derniers ont été souscrits est de nature à faire comprendre combien on est disposé chez nous à venir en aide aux projets du gouvernement, lorsque ces projets intéressent la gloire, la grandeur et la prospérité de la France.

Pour donner une idée du développement successif que pourraient recevoir les ressources provenant de l'emprunt et de la marche de l'amortissement, nous donnons ci-après le tableau financier de l'entreprise, dans la supposition que le montant de la dépense, pour toute la France, s'élève à 350 millions.

ANNÉES.	IMPORTANCE du CAPITAL à la fin de chaque ANNÉE.	IMPORTANCE ET EMPLOI DE L'ANNUITÉ.				OBSERVATIONS.
		Intérêts.	Amortissement.	Fonds d'entretien et de secours.	Total.	
1	70,000,000	3,500,000	7,500,000	800,000	12,000,000 [1]	[1] Entièrement à la charge de l'État.
2	132,500,000	0,025,000	6,175,000	1,200,000	14,000,000 [2]	[2] Dont 12,000,000 à la charge de l'État et 2,000,000 à la charge des autres intéressés.
3	206,325,000	10,310,000	5,084,000	1,600,000	17,000,000 [3]	[3] Dont 12,000,000 à la charge de l'État et 5,000,000 à la charge des autres intéressés.
4	271,241,000	13,562,000	4,438,000	2,000,000	20,000,000 [4]	[4] Dont 12,000,000 à la charge de l'État et 8,000,000 à la charge des autres intéressés.
5	330,803,000	16,840,000	4,760,000	2,400,000	24,000,000 [5]	[5] Dont 12,000,000 à la charge de l'État et 12,000,000 à la charge des autres intéressés.
0	332,043,000	16,602,000	4,598,000	2,000,000	24,000,000 [6]	[6] A partir de la cinquième année la répartion entre l'État et les autres intéressés reste constante.
7	327,445,000	10,373,000	4,427,000	3,200,000	24,000,000	
8	323,018,000	10,151,000	4,249,000	3,600,000	24,000,000	
9	318,769,000	15,938,000	4,002,000	4,000,000	24,000,000	
10	314,707,000	15,735,000	3,765,000	4,500,000	24,000,000 [7]	[7] A partir de la dixième année le fonds d'entretien et de secours reste constant.
12	306,089,000	15,399,000	4,101,000	4,500,000	24,000,000	
14	298,533,000	14,927,000	4,573,000	4,500,000	24,000,000	
16	289,158,000	14,458,000	5,042,000	4,500,000	24,000,000	
10	270,822,000	13,991,000	5,509,000	4,500,000	24,000,000	
20	267,470,000	13,374,000	6,120,000	4,500,000	24,000,000	
25	233,629,000	11,681,000	7,010,000	4,500,000	24,000,000	
30	190,425,000	0,522,000	0,078,000	4,500,000	24,000,000	
35	135,202,000	6,763,000	12,737,000	4,500,000	24,000,000	
40	64,802,000	3,244,000	10,256,000	4,500,000	24,000,000	
43	13,635,000	687,000	13,635,000	4,500,000	10,822,000 [8]	[8] Extinction de la dette ; à partir de cette époque il n'y aura plus à pourvoir qu'à l'entretien des travaux.

Nous avons supposé, dans le système dont ce tableau est la représentation, que les travaux seraient terminés en cinq ans, et que, par conséquent, l'emprunt serait divisé en cinq payements de 70 millions chacun.

Il en résulte que, dans ces cinq premières années, la totalité de la rente annuelle n'est pas nécessaire, circonstance heureuse qui permettra de ne rien demander au début aux riverains, et qui ne les soumettra à des taxes successivement croissantes qu'au fur et à mesure que les produits de nouvelles récoltes leur permettront de cicatriser les plaies du passé.

Le fonds d'entretien et de secours, qui figure à l'origine pour 800,000 fr., reçoit d'année en année un supplément de 400,000 fr., jusqu'à ce qu'il atteigne le chiffre de 1,500,000 fr., après lequel il cesse d'augmenter.

On ne perdra pas de vue d'ailleurs que les concessions d'eau, à titre plus ou moins onéreux, soit pour les forces industrielles, soit pour les irrigations, créeront des ressources qui pourront être employées, ou bien pour venir en aide au fonds d'entretien et de secours, ou bien pour diminuer l'importance de la subvention annuelle, ou, enfin, pour abréger la durée de l'amortissement. Toutefois, quelle que soit notre confiance dans cette source de revenus, nous ne l'avons pas fait intervenir dans nos calculs, aimant mieux, quant à présent, faire le sacrifice d'une éventualité favorable, que nous exposer au reproche d'avoir trop facilement cédé à des espérances que la

critique ne manquerait pas, sans doute, de signaler comme peu fondées.

Au reste, notre intention a été de donner ici un simple spécimen de la marche de la dette et de son extinction, plutôt qu'un ensemble de dispositions invariables. Il y a dans le jeu de l'amortissement des ressorts suffisamment élastiques, pour qu'on puisse modifier à volonté son importance annuelle et sa durée; on pourra, si cela est nécessaire, en le faisant fonctionner quelques années de plus, favoriser l'emprunt par l'allocation de quelques primes. Nous ne nous arrêterons pas plus longtemps sur ce sujet, qui n'a qu'une importance secondaire.

Mais quelles que soient les formes diverses de détail qui viendront s'appliquer à notre pensée, pour lui donner la plus grande utilité possible, quels que soient le mode et les conditions d'emprunt qui seront adoptés, notre système nous paraît avoir la puissance, et c'est là l'essentiel, de fournir immédiatement tout l'argent nécessaire.

Coopération de l'armée à l'exécution des travaux.

Quant à la population ouvrière qui sera employée à l'exécution de ces ouvrages, il est indispensable de l'avoir à sa disposition en tout temps; la nécessité d'aller vite, celle d'être toujours prêt à conjurer de pressants dangers pendant l'exécution des travaux en font une loi. Il faut un personnel nombreux, bien discipliné, non-seulement soumis, mais dévoué. Enoncer ces conditions, c'est avoir désigné l'armée; elle seule peut fournir un pareil personnel, car elle

possède à un haut degré le nombre, la force, la constance, le dévouement.

Elle gagnera d'ailleurs en moralité, en bien-être, en santé, dans cette œuvre, autant et plus qu'elle perdrait dans l'oisiveté.

« On a constaté en Algérie et en France que les « soldats occupés à un travail manuel, au nivellement « ou à l'empierrement des routes, étaient mieux por- « tants : outre l'influence efficace et incontestable du « travail physique sur la santé, le fait s'explique par la « rétribution que les soldats recevaient pour ces tra- « vaux et dont une partie profitait à l'alimentation. « Rien n'est si pernicieux que le repos absolu, l'oisi- « veté amollit le corps et l'âme [1]. »

Nous ne sommes pas éloigné de croire que la récente et heureuse introduction en France du système de réserve pour l'armée facilitera singulièrement la mise en pratique des idées que nous émettons. Il existera en effet dans très-peu d'années, sur chaque commune de notre territoire, un noyau de jeunes soldats qui, bien que libres dans leurs foyers, n'en restent pas moins soumis à la hiérarchie de l'autorité militaire, et qu'on sera sûr de retrouver en quelque point de la France que doivent s'exécuter les travaux. Or, il nous semble qu'il ne sera pas impossible de donner à ces travaux une organisation en partie civile, en partie militaire, tout à fait en rapport par conséquent avec la position même du soldat en congé provisoire dans ses foyers ; de sorte qu'en même temps

[1] Souvenirs d'une mission médicale à l'armée d'Orient, par M. le docteur L. Baudens.

que cette réserve sera employée à une œuvre essentiellement utile au pays, elle continuera d'être rattachée dans une certaine mesure aux liens de la discipline; il y aura donc double profit. Notre inexpérience des questions diverses qui se rattachent à l'organisation de l'armée ne nous permet pas d'être plus explicite à cet égard, et nous devons nous borner à l'indication générale de certains rapports qui nous paraissent possibles, mais nous inclinons volontiers à admettre que l'entreprise que nous venons proposer rencontrera dans l'institution nouvelle de la réserve un puissant appui, et qu'à son tour cette institution ne pourra que gagner à avoir trouvé dès son origine une occasion de placer sous la surveillance de chefs militaires les soldats temporairement congédiés.

Il sera donc nécessaire de s'occuper de toutes les questions qui se rattachent à une heureuse application de l'armée aux travaux publics; nous pensons qu'avec un peu de bonne volonté, cette tâche ne présentera pas de difficultés sérieuses. Nous sommes convaincu que sous l'intelligente tutelle de l'administration, sous les inspirations du chef de l'Etat, qui a donné de si nombreuses et de si touchantes preuves de l'intérêt qu'il porte au malheur, cette armée sera aussi grande, aussi utile, aussi admirée pendant les travaux de la paix, qu'elle l'a été pendant ceux de la guerre, et que des distinctions non moins glorieuses, non moins chères au pays que celles qu'elle a conquises sur les champs de bataille, viendront la récompenser de ses efforts et de son intelligente coopération.

Utilité de la télégraphie électrique pour la complète efficacité des solutions proposées.

On ne saurait douter que les diverses dispositions que nous avons énumérées dans cet écrit, quelque efficaces qu'elles puissent paraître, n'auraient été probablement ni proposées, ni même conçues il y a une vingtaine d'années. Il aurait fallu, pour en tirer profit, trouver le moyen de mettre une seule intelligence en rapport instantané avec un nombreux personnel disséminé sur des centaines de lieues; il aurait fallu qu'elle pût recevoir les avis de ce personnel et lui transmettre ses ordres; qu'elle pût combiner les dispositions prises ou à prendre à l'aval des fleuves, avec les intensités des effets signalés à l'amont; en un mot, qu'à un moment donné, elle pût tout savoir, afin de pouvoir tout diriger. Or, non-seulement ce problème dont l'énoncé n'aurait soulevé que des incrédulités, et qui, même aujourd'hui qu'il n'est plus un mystère pour nous, conserve toujours à un haut degré le prestige d'un grand étonnement, non-seulement, disons-nous, ce problème a reçu une solution inattendue, mais encore ses procédés pratiques rapidement vulgarisés dans le public, après avoir jeté sur l'Europe leur admirable réseau, franchissent les mers, et préparent pour un prochain avenir la communication intellectuelle de tous les peuples.

Subtile et rapide comme la pensée, l'électricité s'est chargée de la transmettre à toutes les distances, et en nous donnant la connaissance instantanée des faits actuels concomitants, elle nous permet de nous

mettre en garde contre leurs prochaines et fâcheuses conséquences.

Il est donc devenu aujourd'hui possible qu'un seul homme, dans le silence et l'isolement de son cabinet, à de grandes distances des localités où les événements se passent, suive dans son entier développement le cours d'un fleuve, connaisse toutes les phases de ses écoulements, les retarde ou les précipite à son gré, dirige et maîtrise le cours des eaux. Dans ces conditions, les ouvrages à exécuter acquièrent un haut degré d'efficacité; et s'il est permis de comprendre qu'avant la découverte de la transmission des dépêches par voie électrique, la pensée de l'homme ait hésité à entreprendre des travaux dont les manœuvres et l'utilisation ultérieure paraissaient douteuses, on aurait aujourd'hui quelque peine à s'expliquer qu'on négligeât plus longtemps de s'occuper des moyens, lorsque le but et la fin sont si facilement réalisables.

RÉSUMÉ.

Nous voici parvenu au terme de cette importante étude qui a pour objet l'aménagement général des eaux courantes à la surface de notre territoire; nous avons passé en revue tous les faits qui s'y rattachent; nous avons soumis au creuset de la discussion toutes les idées qui se sont produites au sujet des inondations; nous avons analysé tous les systèmes qui ont été proposés pour conjurer les désastres qu'engendrent les crues. En procédant à ces longues, laborieuses, mais utiles recherches, nous avons vu se développer une suite de considérations qui nous paraissent avoir un puissant intérêt pour l'humanité; qu'il nous soit permis de les rappeler en quelques mots.

Après la submersion des continents, Dieu a fait alliance avec l'homme, et lui a donné la promesse que les torrents du ciel ne se déverseraient plus sur la terre, qu'un nouvel et sage équilibre règlerait désormais le cours des eaux. Or, le lecteur a pu se convaincre combien sont belles et fécondes les harmonies qui résultent du développement des phénomènes naturels; il a pu apprécier tout ce qu'il y a d'admirable dans cette liaison qui existe entre l'eau qui tombe, celle qui court à la surface, qui humecte

le sol, et qui rentre dans l'atmosphère ; il a pu comprendre combien sont utiles les crues qui assurent la libre communication des terres avec l'Océan, qui apportent avec elles des engrais et de puissants moteurs, qui arroseront les récoltes de nos champs, et donneront une nouvelle activité au mouvement commercial de nos fleuves ; il a pu enfin, secouant d'anciens préjugés, reconnaître que la destruction des forêts, retraites obligées des peuples barbares qui ne trouvent leur subsistance que dans la chasse, que leur remplacement par les cultures perfectionnées des nations civilisées concourent l'une et l'autre à ce double but d'augmenter la production de la terre et de diminuer le ravage des eaux. Tendance providentielle, trop méconnue jusqu'à ce jour, à laquelle l'humanité a machinalement obéi, sans avoir conscience du mobile qui la dirigeait, et sur laquelle nous ne saurions assez méditer ! Dieu n'a donc pas failli à sa parole, c'est maintenant à l'homme à ne pas faillir à sa tâche.

« Ce qui est arrivé après la grande inondation « de 1846 doit nous servir de leçon : on a beaucoup « parlé aux Chambres, on a fait des rapports très-lu« mineux, mais aucun système n'a été adopté, aucune « impulsion nettement définie n'a été donnée, et l'on « s'est borné à faire des travaux partiels qui, au dire « de tous les hommes de science, n'ont servi, à cause « de leur défaut d'ensemble, qu'à rendre les effets « du dernier fléau plus désastreux [1]. »

[1] Lettre de S. M. l'Empereur Napoléon III à M. le ministre des travaux publics.

Les ouvrages que nous venons de décrire constituent une grande et belle entreprise qu'on n'a abordée jusqu'à ce jour qu'avec des demi-mesures, avec hésitation, beaucoup de lenteur, avec de faibles chances de réussite devenues de plus en plus précaires, à mesure que le fâcheux système adopté pour les travaux a pris de nouveaux accroissements.

Or, cette entreprise, qui, appliquée à toutes les rivières, aura une importance de plusieurs centaines de millions, peut être menée à bonne fin, dans son complet développement, avec succès et en très-peu d'années, en n'imposant au trésor que des charges assez légères ; cette entreprise, en même temps qu'elle protégera les propriétés et les individus contre les désastres des inondations, fertilisera les terres, alimentera les fleuves, viendra en aide à l'industrie, et exercera, par conséquent, une grande influence sur la prospérité du pays ; elle dispersera le travail sur toute l'étendue du territoire, et rendra aux campagnes des bras, des services et des ressources qui leur deviennent de plus en plus nécessaires.

Cette entreprise, enfin, aura aussi son côté moral ; elle appellera les capitaux vers les choses utiles, et contribuera peut-être à leur faire perdre l'habitude de courir après de fâcheuses éventualités.

Quant aux difficultés d'exécution, nous ne nous faisons pas illusion au point de prétendre qu'il ne s'en présentera pas ; quel est le projet qui n'a pas les siennes ? mais nous sommes loin de les croire insurmontables ; d'ailleurs, il s'agit ici d'une grande œuvre d'utilité publique. Or, nous avons la conviction que

lorsque les hommes qui tiennent en mains le pouvoir sont animés d'un grand amour pour la prospérité des peuples dont ils sont appelés à diriger les destinées, ils savent toujours trouver en eux-mêmes la force et la volonté nécessaires pour surmonter les obstacles et créer des œuvres fécondes.

FIN.



TABLE ALPHABÉTIQUE

DES AUTEURS CITÉS DANS CET OUVRAGE

AVEC RENVOI AUX PAGES.

FIN DE LA LISTE.

TABLE DES MATIÈRES.

CHAPITRE V.

DU SYSTÈME D'OUVRAGES A ENTREPRENDRE POUR CONJURER LES FACHEUX EFFETS DES CRUES ET POUR PROFITER DE LEURS AVANTAGES.

PREMIÈRE SECTION. — *Disposition générale des ouvrages.*

DEUXIÈME SECTION. — *Considérations sur les études à faire pour déterminer les bases essentielles des projets.*

CHAPITRE VI.

APERÇU SUR QUELQUES CAUSES PARTICULIÈRES SUSCEPTIBLES D'EXERCER UNE INFLUENCE SUR LES ÉCOULEMENTS D'EAU À LA SURFACE DE LA TERRE, ET SUR DIVERSES MESURES PROPOSÉES POUR COMBATTRE LE FLÉAU DES INONDATIONS.

PREMIÈRE SECTION. — *Études sur les modifications introduites dans l'écoulement des eaux par quelques travaux exécutés de main d'homme.*

Pages.

CHAPITRE VII.

APERÇUS SUR L'ÉVALUATION DES DÉPENSES ET SUR LES VOIES ET MOYENS.

PREMIÈRE SECTION. — *Évaluation des dépenses.*

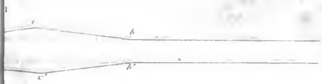
DEUXIÈME SECTION. — *Voies et moyens.*

FIN DE LA TABLE DES MATIÈRES.



hel*le du Plan de 0,m020 pour 20000 mètres*





Évasement





